Vergleichende ökologische und soziologische Untersuchungen hinter Windschutzanlagen auf verschiedenen Grünlandstandorten Südwürttembergs

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der
Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

1962

vorgelegt von

Hartwig Bernitt

aus Raduhn/Meckl.

1963

7416

Vergleichende ökologische und soziologische Untersuchungen hinter Windschutzanlagen auf verschiedenen Grünlandstandorten Südwürttembergs

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der
Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hartwig Bernitt
aus Raduhn/Meckl.
1963

R. ENG.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Mai 1962

Dekan: Prof. Dr. K.G. Grell

1. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Buchwald

2. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Mägdefrau

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG S. 1

DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET S. 4
- Lage der Versuchsflächen S. 4
- Klima S. 8
- Versuchsanordnung S. 14
- Böden (Profile, Grundwasserverhältnisse, pH, Kalkgehalt). S. 18

DIE GRÜNLANDGESELLSCHAFTEN S. 24
- Allgemeines (Pflegezustand, Massenbildner, Aspekt) S. 24
- Soziologische Untersuchungen S. 26
  - Methodisches S. 26
  - Die Wiesen im Neckartal S. 26
  - Die Wiese auf dem Schömberg S. 28
- Ökologische Kennzeichnung S. 30
  - Vergleich der Wiesen untereinander S. 30
  - Untersuchungen innerhalb der Wiesen S. 32

DIE WINDVERHÄLTNISSE S. 39
- Meßmethodik S. 39
- Die Windverteilung bei senkrechter Anblasung S. 41
- Der Einfluß der Windstärke S. 48
- Die Schutzwirkung während eines längeren Zeitraumes S. 53
  - Analyse der Windstärken S. 54
  - Analyse der Windrichtungen S. 57
  - Die Schutzwirkung für die einzelnen Parzellen S. 61

DIE SCHNEEVERWEHUNGEN S. 67

DIE NIEDERSCHLÄGE S. 72

DER TAU S. 74
- Methodik S. 74
- Ergebnisse S. 76
- Diskussion S. 81
- Die ökologische Bedeutung S. 82

DIE VERDUNSTUNG S. 85
Methodik S. 85
Die Verdunstung bei senkrechter Anblasung S. 86
Die Verdunstung in Zaunnähe S. 87
Der Tagesgang der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit und ihr Einfluß auf die Verdunstung S. 9o
Die Abhängigkeit der prozentualen Verdunstungsminderung von der Witterung S. 1o4
Die Verdunstung während eines längeren Zeitraumes S. 1o6
Diskussion S. 1o8
Die ökologische Bedeutung S. 1o9

DIE BODENFEUCHTE S. 113
Methodik S. 113
Die mittlere Schutzwirkung eines Jahres S. 115
Schutzwirkung und Jahresgang der Bodenfeuchte S. 118
Schutzwirkung und Witterung S. 119
Die Bodenfeuchteverhältnisse in Zaunnähe S. 124
Diskussion S. 126
Die ökologische Bedeutung S. 127

DIE NÄCHTLICHEN LUFTTEMPERATUREN S. 133
Allgemeines zur Inversion S. 134
Methodik S. 137
Bestimmung der Höhe des Temperaturminimums S. 138
Der Temperaturverlauf in den Meßnächten S. 141
Zusammenfassende Auswertung S. 156
Ergänzung: die Minimumtemperaturen S. 161

DIE BODENTEMPERATUREN S. 163

DIE ERTRAGSVERHÄLTNISSE S. 17o
Methodik S. 17o
Die Ergebnisse in Frischgewicht S. 173
Die Heuerträge S. 177
Die Halmlängen S. 177
Diskussion und standörtliche Bewertung S. 178

ZUSAMMENFASSUNG S. 186

LITERATURVERZEICHNIS S. 192

BEILAGE : Soziologische Tabellen I - III

E I N L E I T U N G

Im Rahmen der Landschaftpflege und im Zusammenhang mit der Flurbereinigung gewinnt die Frage zunehmende Bedeutung, unter welchen Bedingungen es zweckmäßig ist, Windschutzstreifen anzulegen. Trotz zahlreicher Untersuchungen ist dieses Problem für weite Gebiete noch ungeklärt. Immer mehr stellt sich heraus, wie sehr die Wirkung des Windschutzes auf Boden und Pflanze durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflußt wird. In erster Linie sind hier Klima und Witterung zu nennen. Erst vor kurzem hat SCULTETUS (1958) auf den bisher kaum beachteten, aber erheblichen Einfluß der Luftmassen aufmerksam gemacht. Auch der Bodentyp, die Kulturart und die Pflegeverhältnisse spielen eine große Rolle. Hinzu kommt, daß das Windschutzproblem zeitweise durch "Einseitigkeit der Betrachtung, unzulässige räumliche Verallgemeinerungen und durch propagandistische Übertreibung eher getrübt als geklärt wurde" (TROLL 1951).

Wenn diese Fehler bei neueren Untersuchungen auch weitgehend vermieden wurden, so ergibt sich doch noch eine Reihe Mängel:

1. Die Untersuchung des bodennahen Klimas wird oft nur bei senkrecht auf den Schutzstreifen treffendem Wind oder nur an Schönwettertagen durchgeführt. Entscheidend ist aber, welche Auswirkungen der Schutzstreifen in einem längeren Zeitraum hat, und das kann auf diese Weise nicht ermittelt und auch kaum erschlossen werden.

2. Unmittelbar am Schutzstreifen, etwa bis zu einer Entfernung, die der doppelten Hindernishöhe entspricht, wird das bodennahe Klima nicht nur durch die Windverminderung, sondern auch durch Aus- und Einstrahlungsbehinderung, Regenschatten u.a.m. verändert. Manche Mißverständnisse entstehen dadurch, daß die in diesem Raum gewonnenen Ergebnisse auf den ganzen Schutzbereich übertragen werden.

3. So wertvoll Einzeluntersuchungen bestimmter Faktoren auch sein mögen, bergen sie bei dem komplexen Charakter des Windschutzproblems und dem heutigen Stand unserer Kenntnisse doch stets die Gefahr in sich, daß manche Erscheinungen ohne Erklärungsmöglichkeiten hingenommen werden müssen. Das gilt besonders für die Zusammenhänge zwischen der entgegen früheren Annahmen viel variableren Windverteilung im Schutzbereich und den übrigen mikroklimatischen Faktoren.

4. Die größten Schwierigkeiten entstehen bei der ökologischen Auswertung der meteorologischen Ergebnisse. Wie wirken sich die Veränderungen des Boden- und Mikroklimas auf das Leben der Pflanz aus, wie groß ist der physiologische Nutzwert? Schon 1937 hat KREUTZ empfohlen, aus methodischen Gründen die meteorologische Seite des Windschutzproblems von der ökologisch-pflanzenbaulichen zu trennen. Heute sind die meteorologischen Auswirkungen relativ gut erforscht, eine eingehende Bearbeitung der ökologischen Fragestellung fehlt aber noch völlig. Über die eigentlichen Ursachen der höheren oder z.T. auch geringeren Erträge im Windschutz könne deshalb vielfach nur Vermutungen angestellt werden.

Aus dieser Beurteilung ergeben sich einige allgemeine, die vor liegende Arbeit kennzeichnende Punkte. Die klimatischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes wurden einschließlich lokaler Besonderheiten möglichst ausführlich dargestellt. Ein wesentlicher Teil der Untersuchungen ist der soziologischen und ökologischen Kennzeichnung der Wiesen der Versuchsfelder gewidmet. Im Vergleich zu Acker- und Gartenkulturen wurde das Dauergrünland bei Windschutzversuchen bisher nur wenig berücksichtigt, obgleich es rund 4o % der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Bundesrepublik einnim (Über neue Untersuchungen aus den nordwestdeutschen Marschwiesen berichten UHLIG und v. LÜCKEN (bei WACKER 1959)). Da das Ausmaß d durch den Windschutz bewirkten Veränderungen oft nur gering ist, wurde Wert darauf gelegt, die Arbeitsmethodik genau darzustellen und auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen. Letzteres erwies sich als besonders notwendig bei der Anwendung der Varianzanalyse zur Auswertung der Ertragsergebnisse; die umfangreichen Untersuchungen konnten im Rahmen dieser Arbeit nur stark gekürzt wiedergegeben werden.

Die mikroklimatischen Untersuchungen wurden möglichst umfassend durchgeführt. Lediglich CO_2-Messungen fehlen. Die früher verbreitete Meinung, daß die Ertragssteigerung zum Teil durch eine größe CO_2-Konzentration der bodennahen Luftschicht hervorgerufen würde, erscheint nicht mehr haltbar. RÜSCH 1955 fand im Windschutz - von wenigen Ausnahmen abgesehen - sogar eine geringere CO_2-Konzentration. Eine besondere Bearbeitung erfuhr der Raum unmittelbar am Windhindernis. Oft konnten die bei senkrechter Anblasung gewonnen Ergebnisse durch in langen Zeiträumen ermittelte ergänzt werden.

Bei den wichtigsten Faktoren wurde versucht, die Kausalbeziehungen oder zumindest die Koinzidenz zwischen Witterungsablauf und Windschutzwirkung herauszufinden. Die Windmessungen, die eigentlich am Beginn jeder Untersuchung stehen sollten, konnten erst nach Abschluß der übrigen Versuche vorgenommen und manche sich dabei ergebenden neuen Gesichtspunkte darum nicht weiter verfolgt werden.

Besondere Betonung wurde auf die Untersuchung des Wasserhaushaltes gelegt, da er derjenige Faktor ist, "dem noch am ehesten eine überragende, alles andere verwischende Wirksamkeit für den Wiesenertrag zugesprochen werden kann" (KLAPP und STÄHLIN 1936). Ein Schwerpunkt liegt auch bei den nächtlichen Lufttemperaturen. Durch die Arbeiten von BAUER 1957/58 und 1958/59 wurde erneut darauf hingewiesen, in welch starkem Maße sich die Wiesen nachts abkühlen. Es erschien daher zweckmäßig, die durch den Windschutz verursachte zusätzliche Unterkühlung näher zu prüfen, zumal entsprechende Untersuchungen bisher fehlen. Die eigentliche ökologische Fragestellung wurde bei den wichtigsten Faktoren gesondert behandelt. Das konnte nur grundrißartig erfolgen, eine nähere Orientierung ist mit Hilfe der angeführten Literatur möglich.

Die Arbeit wurde von Herrn Professor Dr. K. Buchwald angeregt. Ihm danke ich herzlich für die Betreuung der Arbeit durch eingehende Beratung und tatkräftige Hilfe. Ebenso danke ich den Direktoren des Instituts für angewandte Botanik, Herrn Professor Dr. W. Zimmermann und Herrn Professor Dr. K. Mägdefrau, für ihre Unterstützung.

Mannigfache Anregung erhielt ich von Fräulein Dr. S. Görs, Tübingen, sowie von Herrn Dr. Th. Müller, Ludwigsburg. Bei einigen ökologischen Fragen berieten mich Frau Professor Dr. L. Steubing, Gießen und Herr Professor Dr. H. Walter, Hohenheim. Mit Herrn Dr. W. Kreutz, Gießen, konnte ich neben anderen Fragen besonders die der Windverteilung durchsprechen. Klimatische Daten von Tübingen stellte mir Herr Dr. Daubert, Tübingen, zur Verfügung. Ratschläge für die Anwendung der Varianzanalyse gab mir Herr Dr. Schrimpf, Hohenheim. Die praktischen Arbeiten der Ertragsbestimmung wurden mit Hilfe der Landwirtschaftsämter Rottenburg und Haigerloch durchgeführt.

Ihnen allen sei herzlich gedankt.

D A S U N T E R S U C H U N G S G E B I E T .

Lage der Versuchsflächen.

Die Untersuchungen wurden auf drei Wiesenstandorten durchgeführt:

a) Bei Kirchentellinsfurt im Neckartal etwa 7 km unterhalb Tübingens.
b) Bei Weilheim im Neckartal etwa 2 km oberhalb Tübingens.
c) Auf dem Unteren Schömberg bei Salmendingen auf der Schwäbischen Alb im Kreis Hechingen.

Nach der naturräumlichen Gliederung gehören die Standorte des Neckartals zum Schönbuch-Glemswald-Gebiet des Schwäbischen Keuper-Lias-Landes und der Schömberg zur mittleren Kuppenalb der Schwäbischen Alb (HUTTENLOCHER 1948).

In K i r c h e n t e l l i n s f u r t (Abb. 1 u. 2) liegt die Versuchsfläche in einem engen Talabschnitt. Zu beiden Seiten der 500 m breiten Sohle erheben sich steile etwa 60 m hohe Stubensandsteinhänge. Durch sie werden die schräg zur Längsachse des Tales einfallenden Winde kanalisiert und die quer zum Tal wehenden Luftströmungen gebremst. Die in der Längsrichtung des Tales streichenden Winde werden dagegen verstärkt, da sie im flachen Tal einen geringeren Reibungswiderstand als an den seitlichen Bergen zu überwinden haben. Für die Windverhältnisse des Versuchsfeldes ergibt sich daraus, daß ein hoher Prozentsatz der Gesamtwindsumme auf den quer zur Talachse gestellten Zaun trifft. Der Versuch wurde deshalb so angelegt, daß beide Seiten des Schutzzaunes als Leezonen angesehen werden konnten.

Das Neckartal bei W e i l h e i m (Abb. 3 u. 4) wirkt weit weniger kanalisierend, weil es sehr viel breiter ist und der südliche Hang verhältnismäßig sanft ansteigt. Nordwestliche Winde werden allerdings stark durch den sich 12o m über das Tal erhebende Spitzberg abgehalten.

Der U n t e r e S c h ö m b e r g (Abb. 5-6) ist ein Teil eines nach NW gerichteten Vorsprungs der Albhochfläche. Er wird im W, N und E vom Steilabfall der Beta-Schichten des Weißen Jura umgeben. Er ist schwach gewölbt, so daß das Gelände der Versuchsfläche geringfügig nach SE einfällt. Die Windverhältnisse werden durch den Wald der traufnahen Zone nur wenig beeinflußt. Im SE beträgt der Abstand zum Versuchsfeld zwar nur 150 m, doch bleibt der

Abb. 1 Versuchsfeld Kirchentellinsfurt. Ausschnitt der Karte 1 : 50 000

Abb. 2 Kirchentellinsfurt. Blick nach NE.

Abb. 3 Versuchsfeld Weilheim und Wetterstation Tübingen. Ausschnitt der Karte 1 : 50 000

Abb. 4 Weilheim, Blick vom Versuchsfeld nach Westen. Rechts die Ödenburg.

Abb. 5 Versuchsfeld Unterer Schömberg, Ausschnitt der Karte 1 : 50 000.

Abb. 6 Schömberg. Blick nach NW.

Wald hier im wesentlichen auf den Steilhang beschränkt, so daß er nicht hoch über die Fläche hinausragt.

Klima.

Innerhalb des Klimabereiches Südwestdeutschlands gehören die Versuchsflächen im Neckartal zum Klimabezirk Oberes Neckarland, der Schömberg zum Klimabezirk Schwäbische Alb (Klimaatlas von Baden-Württemberg 1953). Für das Neckartal stehen die Klimadaten der Station Tübingen zur Verfügung. Für den Schömberg muß auf die 4o km entfernte, aber in der Nähe des Albtraufes gelegene Station Schopfloch zurückgegriffen werden; die Stationen in der Nähe liegen entweder unterhalb des Steilabfalls oder weit vom Trauf entfernt. Für die Niederschläge kann zusätzlich die nur 1o km entfernte Station Genkingen, ebenfalls am Albtrauf, herangezogen werden. Zur Charakterisierung der Klimabezirke dient Tab. 1.

Tübingen hat innerhalb seines Klimabezirks eine niedrige Lage, hohe Sommertemperaturen und geringe Niederschläge. Für Schopfloch und den Schömberg sind, bedingt durch die traufnahe Lage, geringe Extremtemperaturen und hohe Niederschläge charakteristisch.

T a b e l l e 1

Die Klimabezirke des Untersuchungsgebietes.

	Oberes Neckarland		Schwäbische Alb	
	Allgemein	Tbg.	Allgemein	Schopfl
Seehöhe m	3oo - 7oo	37o	5oo - 1ooo	765
Lufttemperatur °C				
Monatsmittel Jan.	-3,o bis -o,5	-1,1	-3,o bis 1,o	-1,6
" Juli	15,5 bis 17,5	17,8	14,5 bis 16,5	15,7
mitl.Jahresschwankg.	17,5 bis 18,5	18,9	17,5 bis 18,o	17,3
Mitl.Dauer e.Tagesmittels d. Lufttemp. von mind. 5° Tage	19o - 23o	226	185 - 21o	2o3
Niederschlag mm mitl. Jahressumme	7oo - 11oo	695	7oo - 1ooo	1o65

Genk.:

Nähere Vergleiche zwischen Tübingen und Schopfloch ergeben sich aus den Tabellen 2 und 3.

T e m p e r a t u r : Tübingen besitzt eine ausgesprochene Temperaturgunst. Gegenüber Schopfloch ist die Differenz der Monatsmittel mit 2,3° im April am größten, im Sommer nimmt sie wenig, im Herbst stärker ab. Die Anzahl der Sommertage ist im südwestdeutschen Raum nur noch am unteren Neckar und in der Oberrheinischen Tiefebene größer. Für den milden Winter ist die geringe Zahl der Eistage charakteristisch, während deren Häufigkeit auf der Alb nur von den höchsten Schwarzwaldlagen übertroffen wird. Am sichtbarsten wird der klimatische Unterschied im Frühling. In Tübingen beginnt die Apfelblüte etwa zur gleichen Zeit wie in Wien, auf der Alb wie in Kopenhagen. Dementsprechend dauert die für das Pflanzenwachstum wichtige Zeit eines Tagesmittels von mindestens 5° C in Tübingen über 3 Wochen länger.

T a b e l l e 2
Klimadaten

Langjährige Mittelwerte. (Klimakunde des Deutschen Reiches 1939 und Klimaatlas von Baden-Württemberg 1953).

	Tübingen 370 m	Schopfloch 765 m
Lufttemperatur		
Jahresmittel	8,4°	6,9°
Mitteltemp.d.Veg.periode Mai/Juli	15,6°	13,5°
Mittlere tägl. Schwankung	8,3°	5,6°
Sommertage (max.Lufttemp.üb.25°)	34,7	11,1
Heiße Tage (" " " 30°)	6,2	0,4
Eistage (" " unter 0°)	20,4	44,6
Frosttage (min. " " 0°)	106,3	113,1
Frostfreie Zeit (Tage)	168	175
Relative Luftfeuchtigkeit (%)		
Jahresmittel	80	82
Mai 14.00 Uhr	55 - 60	65 - 70
Bewölkung (1-10)		
Jahresmittel	6,4	6,1
Niederschlag		
Mitl.Zahl d.Tage mit mind.1,0 mm im Jahr	116	138 (Genkingen)
Mai - Juli mm	248	308 (")

	Tübingen	Schopfloch
Trockenheitsindex		
Jahresmittel		
Mai bis Juli	40 - 45	70
Tagesmittel über 5°		
Beginn	22.3.	7.4.
Ende	7.10.	28.9.
Mittlerer Beginn d.Apfelblüte	30.4.-5.5.	nach 25.5.

T a b e l l e 3

Das Klima während der Vegetationsperiode.

		A	M	J	J	A	S
Lufttemperatur °C							
Monatsmittel	Tbg.	8,3	13,0	16,0	17,8	16,7	13,
	Sch.	6,0	10,9	13,9	15,7	15,0	12,
Mitl.tägl.Schwankg.	T.	11,2	11,9	11,6	11,8	11,9	10,
	S.	7,0	7,7	7,8	7,7	7,2	6,
Relat. Luftfeuchtigkeit %							
Mitl.Minimum	Tbg.	26	30	34	33	34	3
	Sch.	40	42	48	48	49	5
Niederschlag mm							
Mitl.Nied.summe	Tbg.	50	77	82	89	79	
	Genk.	82	94	106	108	94	

Dagegen ist auffällig, daß die mittlere Dauer zwischen letztem und erstem Frost in Tübingen geringer ist als in Schopfloch. Diese Tatsache macht auf die klimatischen Besonderheiten des traufnahen Gebietes der Alb sowie auf die des Neckartals aufmerksam. Während im allgemeinen die Kontinentalität gegen SE zunimmt und damit die Dauer der frostfreien Zeit abnimmt, macht der Albtrauf eine Ausnahme, sein Klima ist ozeanisch getönt. Der hohe Wert für Schopfloch ist deshalb nicht repräsentativ für die Alb. Die Lage Tübingens zwischen Alb und Schönbuch führt dagegen zu häufigen Frühjahrs- und Herbstfrösten (Abb. 7), und die hohen Tages- und Jahresschwankungen der Lufttemperatur verleihen dem Klima einen kontinentalen Zug.

L u f t f e u c h t i g k e i t : Sie ist auf der Alb größer, und im Traufgebiet rufen die vorherrschenden Südwest- und Westwinde eine weitere Steigerung hervor. Die Unterschiede treten besonders im Mai, dem Monat mit der geringsten Luftfeuchtigkeit, und mittags hervor. Die durchschnittlichen Minima liegen in Schopfloch 12 bis 15 % höher als in Tübingen.

B e w ö l k u n g : Die Unterschiede sind gering. Die Alb und das Neckargebiet haben, wie weite Teile Süddeutschlands, viele heitere Tage.

N i e d e r s c h l a g : Die Verhältnisse werden in erster Linie durch die Leewirkung des Schwarzwaldes bestimmt (Abb. 8). Sie bezieht auch noch die Alb mit ein, so daß diese zu den trockensten Mittelgebirgen Deutschlands gehört. In Tübingen wird die Niederschlagsmenge durch eine Saugwirkung des Neckartals weiter herabgesetzt. Das Tal stellt den Winden weniger Reibungswiderstand entgegen als die benachbarten Berge; durch die dabei auftretende höhere Geschwindigkeit entsteht ein Saugeffekt, der die Luft aus den Nebentälern des Neckars herauszieht und zu einer Föhnwirkung führt (Abb. 9). Der Jahresgang der Niederschläge ist bei beiden Stationen stark und in etwa gleicher Weise ausgebildet. Von April bis September fallen in Tübingen 65 %, in Genkingen und Schopfloch 62 % des Jahresniederschlages. Die Niederschlagsdifferenz zwischen Tübingen und Genkingen schwankt im Sommerhalbjahr zwischen 32 mm (April) und 15 mm (August).

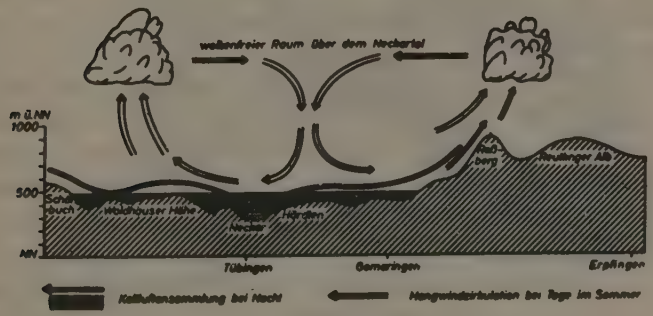


Abb. 7 Zum Lokalklima Tübingens.
Aus DAUBERT 1957.

Abb. 8 Aus DAUBERT 1957.

Abb. 9 Saugwirkung bei SW Winden.
Aus DAUBERT 1957.

Der T r o c k e n h e i t s i n d e x ist eine Verhältniszahl, die Temperatur- und Niederschlagswerte koppelt (Formel nach REICHEL, Klimaatlas von Baden-Württemberg, 1953). Hohe Werte bedeuten geringe Trockenheit. Da jedoch weder Wind- noch Bodenverhältnisse berücksichtigt werden, spielen diese Indexwerte für Windschutzversuche nur eine untergeordnete Rolle.

W i n d : Nach der Karte von MANIG 1952 herrschen in Deutschland im Jahresmittel Windgeschwindigkeiten von unter 2 m/sec. bis über 6 m/sec. In einer groben Übersicht ordnen sich die Versuchsflächen wie folgt ein:

über 6	m/sec.	: Friesische Inseln
5 - 6	"	: 30 km breiter Küstenstreifen an der Nordsee
4 - 5	"	: Schleswig-Holstein
3 - 4	"	: Übriges NW-Deutschland, Mittelgebirge, Alb
2 - 3	"	: Mittel- und Süddeutschland, Neckartal
unter 2	"	: Enge Täler und Becken, Neckartal

Die Schwäbische Alb ist also keinesfalls ein Gebiet besonders hoher Windstärke, sie ist vielmehr vergleichbar mit dem küstenfernen Teil des norddeutschen Tieflandes. In unmittelbarer Traufnähe herrschen Jahresmittel von 4 m/sec., aber schon nach einem schmalen Streifen von etwa 10 km Breite sinken sie auf 3 m/sec. Die Versuchsflächen im Neckartal gehören zu den windschwächsten Gebieten Deutschlands; selbst auf der ca. 5o m höher und frei gelegenen Station Tübingen beträgt das Jahresmittel nur 2 m/sec. Der Jahresgang ist mit einem Maximum im Frühjahr und Minimum im Spätsommer nur schwach ausgeprägt. Für die Windrichtung ist die bloße Angabe der Hauptrichtung nicht ausreichend. So sind in Tübingen die westlichen Winde ausgesprochen vorherrschend, aber auf sie (SW, W und NW) entfallen doch nur 52 %. Hinzu kommt, daß die Winde der verschiedenen Richtungen für den Windschutzzweck nicht gleichwertig sind; oft sind es z.B. die trockenen Ostwinde, die zur Zeit des kritischen Bodenwassergehaltes im Hoch- und Spätsommer die Verdunstung und Bodenaustrocknung besonders fördern. In Tab. 4 werden die Jahresmittel und für Schopfloch außerdem die Monatsmittel der prozentualen Windverteilung angegeben. (In Tübingen ist die monatliche Abweichung vom Jahresmittel gering.)

T a b e l l e 4

Die prozentuale Windverteilung.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
Tübingen Jahresmittl.	6	11	11	2	3	15	31	6	16
Schopfloch Jahresmittl.	6	8	12	11	11	28	13	8	1
Monatsmittl.									
April	8	12	14	9	9	25	13	10	0
Mai	9	13	13	10	7	22	14	12	1
Juni	9	11	12	7	9	23	15	13	1
Juli	8	9	8	8	9	29	17	12	1
August	6	7	8	9	12	29	17	11	1
Sept.	6	10	14	10	9	25	14	9	1

Für die Alb ergibt sich eine stärkere Betonung der Südkomponente (SW + S + SE = 50 % gegenüber 20 % in Tübingen) und ein weit geringerer Anteil der Windstille. Außerdem zeigen die Monatswerte eine Schwerpunktsverlagerung von NW über SW nach SE im Verlauf der Vegetationszeit (unterstrichene Werte). Nicht berücksichtigt wird bei dieser Darstellung, daß die mittlere Stärke der einzelnen Windrichtungen recht unterschiedlich sein kann, doch sind Angaben hierüber schwer greifbar.

Eine eingehende Darstellung findet das Klima Württembergs bei SCHRÖDER 1948, speziell der Alb bei MARX 1922.

Versuchsanordnung

Für Windschutzuntersuchungen werden möglichst große ebene Flächen benötigt, die keine standörtlichen Unterschiede aufweisen und windfrei liegen. Trotz langer Suche konnten solche Idealflächen nicht gefunden werden, hauptsächlich deswegen, weil die Parzellen im Untersuchungsgebiet in der Regel sehr schmal sind. Es traten folgende Mängel auf:

a) Der Windschutzzaun mußte auf allen Versuchsstellen quer über drei Wiesen errichtet werden; eine einheitliche Zaunlänge konnte nicht eingehalten werden.

b) Als eigentliches Versuchsfeld konnte nur die mittlere Wiese benutzt werden. Ihre unterschiedliche Breite zwang zu verschieden großen Ertragsflächen; seitliche Kontrollflächen

entfielen ganz.

c) Im Neckartal bewirkten Standortsunterschiede innerhalb der Versuchsflächen Ertragsdifferenzen bis zu 25 %, so daß eine varianzanalytische Auswertung der Ergebnisse oft nicht möglich war.

d) Auf dem Schömberg konnte der Zaun nicht senkrecht zur Hauptwindrichtung aufgestellt werden.

Die Abmessungen der Felder und Zäune sowie die Anordnung der Ertragsflächen geben die Abb. 1o-12 wieder. Als Windschutzzaun wurden Kokosfasermatten der Firma KAYSER, Hannover, verwendet. Sie haben eine Maschenweite von 2,5 cm und sollen zu 5o % durchblasbar sein. Sie wurden in Abständen von 3 m mit Dachlatten und Flügelschrauben an Holzpfosten befestigt und mit Spanndrähten gegen Sturm gesichert (Abb. 13). Diese Sicherung verhinderte auch auf der Alb, wo die Pfosten nur 3o - 4o cm tief in den Boden getrieben werden konnten, ein Schrägstellen oder gar Umwerfen. Die Kokosfaser ist so widerstandsfähig, daß die Zäune mehrere Jahre verwendet werden können. Die Lage der Meßstellen war, abgesehen von einigen Ertragsflächen im Freiland, überall die gleiche. Als Beispiel gibt die Abb. 14 für Weilheim einen Ausschnitt. Die Ertragsflächen sind zugleich die Flächen der soziologischen Aufnahme. Die Abbildung gibt nur generelle Meßpunkte wieder, Einzelheiten müssen den entsprechenden Abschnitten entnommen werden.

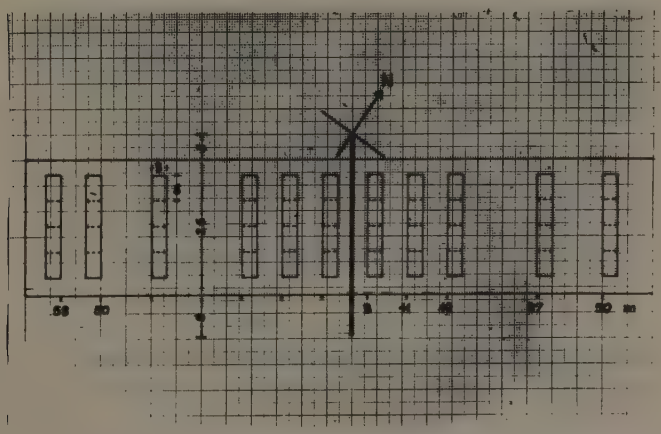


Abb. 1o Versuchsfeld Kirchentellinsfurt

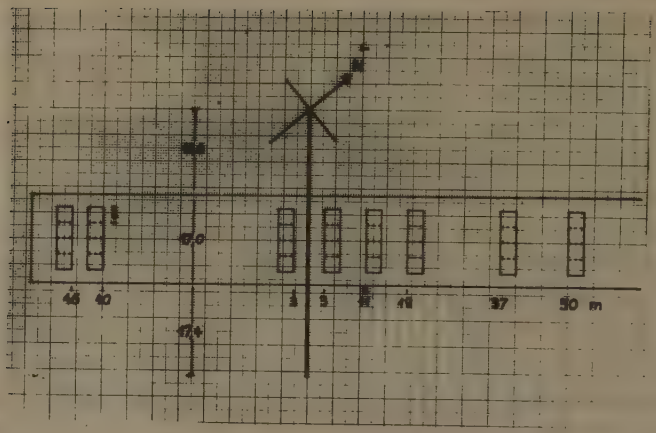


Abb. 11 Versuchsfeld Weilheim

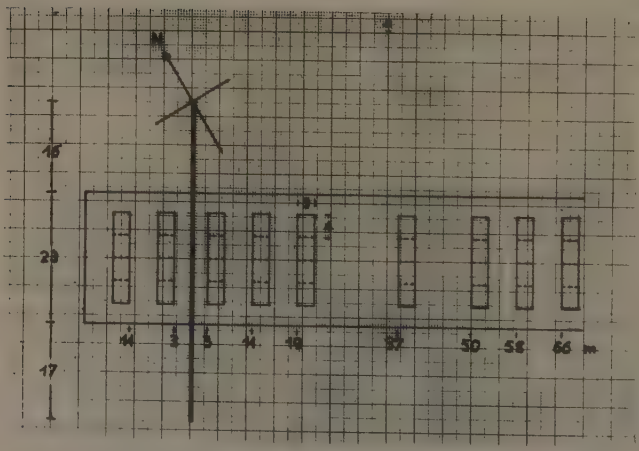


Abb. 12 Versuchsfeld Schömberg

Abb. 13 Windschutzzaun aus
Kokosfasermatten. Höhe 2 m.

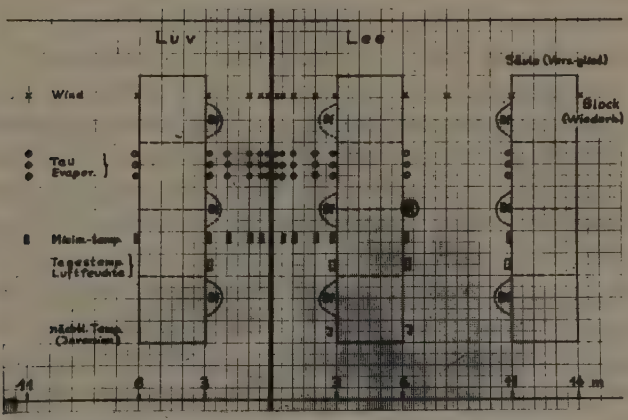


Abb. 14 Die Versuchsanordnung. Ausschnitt.
Bf Meßstellen der Bodenfeuchte, R Regenmesser.
Die übrigen Angaben schematisch eingezeichnet.

Böden

Die Bezeichnung der Böden erfolgt nach KUBIENA 1953 und MÜCKENHAUSEN 1957. Der Kalkgehalt wurde nach FABRY 1950 mit HCl bestimmt und nach 4 Stufen geschätzt. Die Schlämmanalysen wurden nach KRUEDENER, beschrieben bei FABRY 1950, durchgeführt. Zur Bestimmung des Säuregrades wurden lufttrockene Proben mit n/10 KCl im Verhältnis 1 : 2,5 aufgeschlämmt und nach 10 Minuten mit dem Ionometer von LAUTENSCHLÄGER (Kalomel - Chinhydron - Elektr bestimmt. Da im Gegensatz zum Acker die Bodenreaktion im Grünla nur eine geringe Rolle spielt (ELLENBERG 1952), wurden die Böde nur einmal untersucht. Vom 14. bis 16. August 1959 wurden von jedem Versuchsfeld aus 5 und 15 cm Tiefe je 12 Proben entnommen

Die Böden im Neckartal

Sie bestehen aus zusammengeschwemmtem, kalkreichem Löß- und Braunerdematerial. Außer durch das Sediment wird ihre Entwicklu von Überflutungen und Grundwasserverhältnissen bestimmt und is dadurch weitgehend mit der Flußgeschichte verknüpft. Der Neckar durchfließt von Rottenburg bis Kirchentellinsfurt ein tektonisc bedingtes Senkungsfeld. Durch das geringe Gefälle erfolgte eine langdauernde Aufschüttung, es ist ein ertrunkenes Tal (WAGNER 1 Die Schottermassen sind unterhalb der Rottenburger Flexur 18 m mächtig und nehmen flußabwärts bis auf 6 m bei Kirchentellinsfu ab. Von der Schottermächtigkeit sind die Grundwassertiefen abhängig, sie nehmen in gleicher Richtung von 5 m bis auf 1,3 m a

Von Bedeutung sind ferner die seit Ende des 18. Jahrhunderts durchgeführten Neckarkorrektionen. Mit der Begradigung traten Gefällserhöhungen auf, so daß der Fluß stärker erodierte und de Grundwasserspiegel der Talaue sank. Diese Absenkung wird belegt durch einen Gleyhorizont, dessen unterer Rand z.B. beim Baggers Weilheim 1 m über dem heutigen Wasserspiegel liegt. Die Durchwurzelung reicht in diesen Horizont hinein, die Pflanzen konnte also früher ihren Wasserbedarf mit aus dem Grundwasser decken. D Korrektionen führten außerdem dazu, daß der Neckar die Talaue be Weilheim im Gegensatz zu Kirchentellinsfurt nicht mehr überflute und die düngenden Schlickablagerungen und Durchtränkungen des Wiesenbodens aufhörten. Aus dem braunen Auenboden entsteht desha heute die durch Auswaschung der Sesquioxyde aus dem Oberboden ge

kennzeichnete Parabraunerde. Über die Neckarkorrektionen und seine Folgen für Böden und Pflanzengesellschaften berichtet ausführlich SPÖRLE 1955, speziell über die Grundwasserverhältnisse KEHRER 1931.

Kirchentellinsfurt. Bodentyp: Braune Vega (KUB. 1953)

P r o f i l :

A_1	0 - 15 cm	dunkelgraubrauner, humoser, krümeliger bis feinbröckeliger, feinsandiger Lehm, stark durchwurzelt, Regenwürmer.
A_3	15 - 45 cm	graubrauner, mäßig humoser, bröckeliger, feinsandiger Lehm, mäßig bis schwach durchwurzelt, mit vereinzelten Regenwürmern, Steinchen und Ziegelstückchen. Durchsetzt mit Schneckengehäusen. Untere 15 cm mit vereinzelten Rostflecken.
G (B)	45 - 95 cm	graubrauner, polyedrisch brechender rostfleckiger Lehm. In den oberen 3o cm mit vereinzelten Würzelchen und Nadelstichporung.
G o+r	95 - erschl. 115 cm	hellgraubrauner, mittel- bis feinsandiger Lehm mit Rost- und Reduktionsflecken. Oberste 1o cm stärker sandig, ohne Reduktionsflecken. Keine Wurzeln.

Die braune Vega zeichnet sich durch ein gutes Gefüge mit starkem Porensystem aus, sie besitzt deshalb eine hohe Wasserkapazität und ist gut durchwurzelbar.

Weitere Profilgrabungen ergaben, daß die Gründigkeit selbst auf kurze Entfernungen stark wechselt, eine Tatsache,die außer auf Ablagerungen und Umschichtungen des Neckars auch auf die Gerölle des hier ins Tal tretenden Schlierbachs zurückzuführen ist. Die Unterschiede der Profile werden durch das Höhenverhältnis von Grundwasserspiegel und Schotterkörper bestimmt und drücken sich in der wechselnden Mächtigkeit des Gleyhorizontes aus (Abb. 15). In den flachgründigen Böden liegt der Grundwasserspiegel meistens im Schotterkörper, und der Kapillarsaum wird deshalb nur gering oder gar nicht ausgebildet. Besonders in langen Trockenzeiten sind sie in ihrem Wasserhaushalt benachteiligt (Abb. 16). Die S c h l ä m m a n a l y s e ergab für die flachgründigen Lagen einen etwa 1o %

geringeren Tonanteil, im übrigen nur geringe Unterschiede. Die Mittelwerte sind (Anteil in %) :

	Mittel-u. Grobsand (2,o - o,2 mm)	Feinsand (o,2 - o,o5 mm)	tonig (unter o,o5 mm)
A_1	4o	1o	5o
A_3	45	7	48
G(B)	5o	5	45

Der G r u n d w a s s e r s t a n d wurde gleichzeitig mit den Probenentnahmen für die Bodenfeuchtebestimmungen etwa alle 3 Wochen in einer offenen Grube abgelesen. Zum Vergleich wurden die Schwankungen des Wasserspiegels des 2oo m westlicher gelegenen Baggersees beobachtet; die Werte stimmten überein. Die Höhe des Grundwassers betrug 1959 (cm unter Flur):

4.1.	13.1.	25.1.	1.3.	21.3.	13.4.	3.5.
1oo	1oo	47	11o	1o7	1o8	114

15.5.	16.6.	4.7.	19.7.	14.8.	4.9.	13.9.
116	12o	122	125	134	123	127

Bei einer sommerlichen Tiefe von 12o cm kommt dem Grundwasser kau noch eine Bedeutung für die Wasserversorgung der Pflanzen zu. Das Kapillarwasser steigt zwar bis etwa 6o cm unter Flur, jedoch ist hier die Förderleistung minimal, und die Wurzeln reichen nur noch vereinzelt in diese Tiefe. Es liegt hier ein Grenzfall vor. Eingehende Diskussionen ähnlicher Verhältnisse sind in den Arbeiten von ELLENBERG 1952, BERGERHOFF 1955 und DHEIN und MOTT 1955 enthalten.

pH und K a l k :

	pH - Werte häufigster Wert	-Schwankung	Kalkgehalt
5 cm	7,3	7,2 - 7,3	stark (über 5 %
15	7,3	7,2 - 7,3	" "

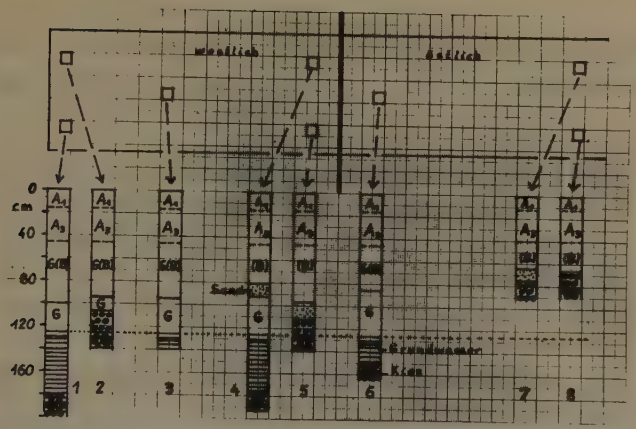


Abb. 15 Bodenprofile der Niese Kirchentellinsfurt.

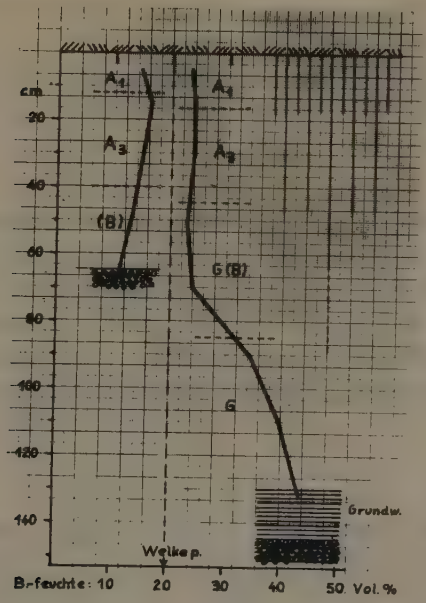


Abb. 16 Bodenfeuchte und Durchwurzelung in Kirchentellinsfurt am 6. Okt. 1959 nach langer Trockenperiode. Links Profil 8, rechts Profil 6 der Abb. 15.

Weilheim. Bodentyp: Parabraunerde (MüCK. 1957), entstanden aus brauner Vega.

P r o f i l :

A_1	0 - 12 cm	dunkelgraubrauner, humoser, krümeliger bis bröckeliger feinsandiger Lehm, stark durchwurzelt, mit einzelnen Regenwürmern und Ziegelsteinen.
A_3	12 - 45 cm	Hellgraubrauner, mäßig humoser, bröckeliger feinsandiger Lehm, gut bis mäßig durchwurzelt, vereinzelt Nadelstichporung. Durchsetzt mit Schneckengehäusen.
(B)	45 - 95 cm	mittelbrauner, polyedrisch brechender feinsandiger Lehm mit Nadelstichporung, vereinzelten Würzelchen und dünnen Kalktapeten an den Spaltflächen.
D	95 - erschl. 185 cm	mittelbrauner, lehmiger Mittelkies.

Fließende Übergänge zwischen A_1 - A_3 - (B).

Die Parabraunerde hat einen guten Luft- und Wasserhaushalt, aber eine geringe Gefügestabilität. Vergleichsgrabungen an anderen Stellen des Versuchsfeldes erbrachten keine Unterschiede in der Ausbildung des Profils. Zur Ermittelung des G r u n d w a s s e r s p i e g e l s wurde der Wasserstand des 4oo m entfernten Badesees beobachtet. Der mittlere Grundwasserstand während der Vegetationsperiode lag bei 3,2o m, die Schwankungen waren geringer als in Kirchentellinsfurt.

pH und K a l k :

	pH - Werte		Kalkgehalt
	häufigster W.	Schwankungen	
5 cm	7,4	7,2 - 7,4	stark
15 cm	7,3	7,o - 7,3	"

Der Boden auf dem Schömberg. Bodentyp: Braune Rendzina (KUB.1953); Synonym: Verbraunte Rendzina (LAATSCH 1957).

P r o f i l :

A_{11} o - 5 cm dunkelbrauner, humoser, krümeliger, stark durchwurzelter Lehm.

A_{12} 5 - 2o cm mittelbrauner, schwach humoser, bröckeliger Lehm, im unteren Bereich mit Nadelstichporung; bis 15 cm mäßig, zwischen 15 und 2o cm schwach durchwurzelt.

C_1 2o - 25 cm gelbgraue, lose Kalksteine mit zwischengelagertem tonigem Lehm.

C_2 ab 25 cm festgelagertes Kalkgestein des Weißjura Beta.

pH und K a l k :

	pH - Wert häufigster W.	pH - Wert Schwankung	Kalkgehalt
5 cm	5,9	5,7 - 6,1	schwach (1-2%)
15 cm	6,1	5,6 - 6,1	"

Die ursprünglich unter Wald vorhanden gewesene braunschwarze Rendzina ist während der Ackerkultur durch Humusabbau und Entkalkung weitgehend verbraunt. Die angereicherte Tonsubstanz erhöht zwar die Wasserkapazität, verkittet aber auch den Boden im Sommer so sehr, daß er tiefe Trockenrisse bekommt und dadurch leichter austrocknet. Das nutzbare Bodenwasser ist für die Pflanzen der Minimumfaktor.

D I E G R Ü N L A N D G E S E L L S C H A F T E N

Allgemeines.

Die Untersuchungsflächen im Neckartal sind zweischnittige Mähwiesen, sog. Öhmdwiesen. Sie werden regelmäßig mit Stallmist oder Handelsdünger versorgt, Jauchedüngung ist selten. Die Fläche auf dem Schömberg befindet sich in einem Übergangsstadium von einschürigem Magerrasen zur Öhmdwiese; sie wird gering und unregelmäßig gedüngt. Früher herrschten die Magerrasen oder Mäder auf dem Schömberg wie allgemein auf weit vom Dorf entfernten Gemarkungen der Alb vor, seit Einführung des Handelsdüngers und mit zunehmender Motorisierung werden sie nach und nach in Öhmdwiesen verwandelt. Alle Schnitte der Versuchsflächen dienen der Heugewinnung.

Die E r t r ä g e der Wiesen sind im klimatisch begünstigten Neckartal etwas höher als der Durchschnitt vergleichbarer Gesellschaften in anderen Gebieten Deutschlands. Auf dem Schömberg sind sie weit mehr von der Witterung abhängig. Ein trockener Sommer kann sich wie z.B. 1959 auf den 2. Schnitt so stark auswirken, daß sich das Mähen nicht mehr lohnt. Auf den Versuchsflächen wurde geerntet (dz/ha Heu):

	Kirchentellinsfurt		Weilheim		Schömberg	
	1958	1959	1958	1959	1958	1959
1. Schnitt	42	55	37	44	2o	17
2. Schnitt	27	26	26	25	1o	3
S u m m e	69	81	63	69	3o	2o

Vergleichswerte für das Neckartal bei Tübingen liegen bei SPÖRLE 1955 vor. Er fand bei der durchschnittlichen Ernte 1954 für die Trespen - Salbei - Glatthaferwiese 52 dz/ha, für die Rohrschwingel Salbei - Glatthaferwiese 72 dz/ha. Ähnliche Ergebnisse ermittelte JACOBSOHNS 195o etwa 4o km flußabwärts. Die Erträge des Schömberges zeigen die genannte Übergangsstellung der Wiese. Echte Trockenrasen ergeben Jahreserträge von 1o dz/ha, SPÖRLE 1955 erhielt bei solchen im Neckartal 18 dz/ha.

Den Hauptanteil am Ertrag stellen im Neckartal Arrhenatherum elatius, Holcus lanatus, Trisetum flavescens, Poa trivialis, Dactylis glomerata, Festuca pratensis sowie Trifolium pratense und repens und Medicago lupulina. In Kirchentellinsfurt kommen außerdem Galium mollugo, Daucus carota und Ranunculus acer hinzu, in Weilheim stattdessen Salvia pratensis und Bromus erectus. Auf dem Schömberg treten nur drei Arten als Massenbildner auf : Bromus erectus, Festuca ovina und Trifolium campestre.

Das Verhältnis Gras : Klee : Kräuter ist im Neckartal etwa 50 : 15 : 35, auf dem Schömberg 65 : 2o : 15.

A s p e k t . Im Neckartal zeigt sich die Klimagunst in einer langen Vegetations- und Blütezeit. Das Austreiben beginnt etwa Mitte März. Die ersten Blüten zeigen Ende März Ranunculus ficaria und Viola hirta, die letzten Mitte November Trifolium pratense, Campanula patula und Tragopogon pratensis. Auf dem Schömberg ergrünen die Wiesen etwa drei Wochen später, im Herbst verschwinden als letzte die Blüten von Trifolium pratense Anfang Oktober. Folgende Arten treten im Aspekt im Laufe des Jahres bestimmend hervor (unterstrichen = stark, eingeklammert = schwach) :

	Kirchentellinsfurt	Weilheim	Schömberg
April	(Bellis, Viola)	(Bellis, Viola)	(Viola, Potentilla)
vor 1. Schn.	Ran. acer	Chrys.leuc.	Trif.camp.
	Chrys.leuc.	Tarax.off.	
	Vicia sep.	Ran.acer	Bromus erect.
	Camp.pat.	Ran.bulb.	
		Salvia prat.	
		Camp.pat.	
		Knautia arv.	
vor 2. Schn.	Daucus car.	Trif.rep.	Daucus car.
		Plant.lanc.	
		Plant.med.	

Die soziologischen Untersuchen.

Methodisches.

Die Aufnahme der Wiesengesellschaften wurde nach der Methode BRAUN-BLANQUET 1951 mit kombinierter Schätzung von Abundanz und Dominanz durchgeführt. Die Benennung der Arten erfolgt nach OBERDORFER 1949 und GAMS 1948; beide Floren berücksichtigen die internationalen Nomenklaturregeln. Die Benennung der Vegetationseinheiten und ihrer Charakterarten schließt sich OBERDORFER 1957 Die Untersuchungen wurden auf allen Einzelflächen vorgenommen, so daß für jede Säule vier Aufnahmen vorliegen (Tab. I - III). Sie wurden nicht nach systematischen oder ökologischen Gesichtspunkt sondern nach dem Versuchsplan geordnet, da die soziologische Einheitlichkeit des Versuchsfeldes so am besten beurteilt werden k Die Aufnahmen wurden durch viermalige Untersuchung im Vegetationsjahr 1958 gewonnen. Wie auch KLAPP und STÄHLIN 1936 betonen, kann ein Wiesenbestand nur durch wiederholte Untersuchungen vollständig erfaßt werden. Die Frühlingsephemere Thlaspi perfoliatum entgeht z.B. bei den üblichen Aufnahmen vor dem ersten und zweiten Schnitt in der Regel der Beobachtung. Auch die Schätzung der Abundanz und Dominanz wird wesentlich erleichtert. Im Neckartal konnte so die mittlere Artenzahl von 27 und 30 der vergleichbaren Gesellschaften bei SPÖRLE 1955 auf 42 und 43 erhöht werden.

Die Wiesen im Neckartal.

Die Untersuchungsflächen sind gut ausgeprägte Glatthaferwiesen. Neben wenigen Sumpfdotterblumen- und Kohldiestelwiesen herrschen diese allgemein im Neckartal vor; der Glatthafer findet in diesem Weinbauklima besonders gute Lebensbedingungen. Beide Flächen liegen in dem von SPÖRLE 1955 kartierten Gebiet. Das Feld Weilheim wurde außerdem bereits von FABER 1937 erfaßt.

Die Fläche in Kirchentellinsfurt ist eine Salbei-Glatthaferwiese mit Feuchtigkeitszeigern wie Deschampsia caespitosa, Geranium pratense, Ranunculus repens und anderen, so daß Salvia hier an der feuchten Grenze seines Vorkommens steht. Innerhalb der Wiese lassen sich drei Gebiete herausschälen:

---

1) Innerhalb jeder Säule wurden die Aufnahmeflächen von S nach N nummeriert.

1. Eine feuchtere Stelle in den nördlichen Teilen der Säulen 3 - 6 m und 11 - 14 m östlich des Zaunes mit gehäuftem Auftreten von Geranium pratense (Aufnahmen Nr. 28 und 32). 2. Eine trockenere Stelle am südöstlichen Ende der Wiese mit Bromus erectus und dem auffälligen Cucubalus baccifer (Aufnahmen Nr. 48 und 49, vgl. Bodenprofil 8 der Abb. 15). 3. Eine Zone am nordöstlichen Ende mit flächig verbreitetem Ranunculus repens, der auf eine Bodenverschlämmung durch gelegentliche Überschwemmungen des Schlierbachs hinweist.

Die Fläche in Weilheim ist eine Trespen-Salbei-Glatthaferwiese, gekennzeichnet durch eine reiche Beimischung von Trockenrasenarten. Die Unterschiede innerhalb des Bestandes sind gering. Nach Osten wird Trifolium pratense etwas häufiger, in Zaunnähe weisen die Trockenzeiger auf Bodenfeuchtigkeitsunterschiede hin.

Zur Stellung im soziologischen System gibt das Schema S.29 eine Übersicht. Die von FABER, OBERDORFER und auch ELLENBERG 1952 durchgeführte Dreiteilung des Arrhenatheretum in eine trockene, typische und feuchte Form wird von SPÖRLE und ESKUCHE insofern durchbrochen, als das Arrhenatheretum typicum fehlt. Die Wiese bei Kirchentellinsfurt, hier betrachtet mit Ausnahme der flachgründigen Zone, weist aber weder den zur Einordnung in die Rohrschwingel-Salbeiwiese nötigen Rohrschwingel auf (nur 3 mal bei 44 Aufnahmen), noch die zur nächst trockeneren Einheit gehörende aufrechte Trespe. Sie unterscheidet sich von dem Arrhenatheretum typicum OBERDORFERS im wesentlichen lediglich durch das Vorhandensein von Deschampsia caespitosa.

Ein Zusammentreffen von Deschampsia und Salvia fand auch ESKUCHE 1955 im Donautal. Er ordnete diese Gesellschaft als Salvia-Subvariante der Deschampsia - Variante der Fuchsschwanz - Glatthaferwiese ein. Dieses Vorgehen erscheint jedoch zweifelhaft, denn die Gesellschaft ESKUCHEs weist eine Reihe Trockenzeiger auf, z.B. (in Klammern die Stetigkeit) Ranunculus bulbosus (V), Bromus erectus (II), Cucubalus baccifer (II) und sogar Scabiosa columbaria (III) und Koeleria pyramidata (II). Außerdem ist fraglich, ob, wie hier bei ESKUCHE, Ajuga reptans und Glechoma hederacea allgemein als Frischezeiger und Trennarten für die Fuchsschwanz-Glatthaferwiese verwendet werden können (Vgl. Tab. 6). Bei SPÖRLE 1955 ist

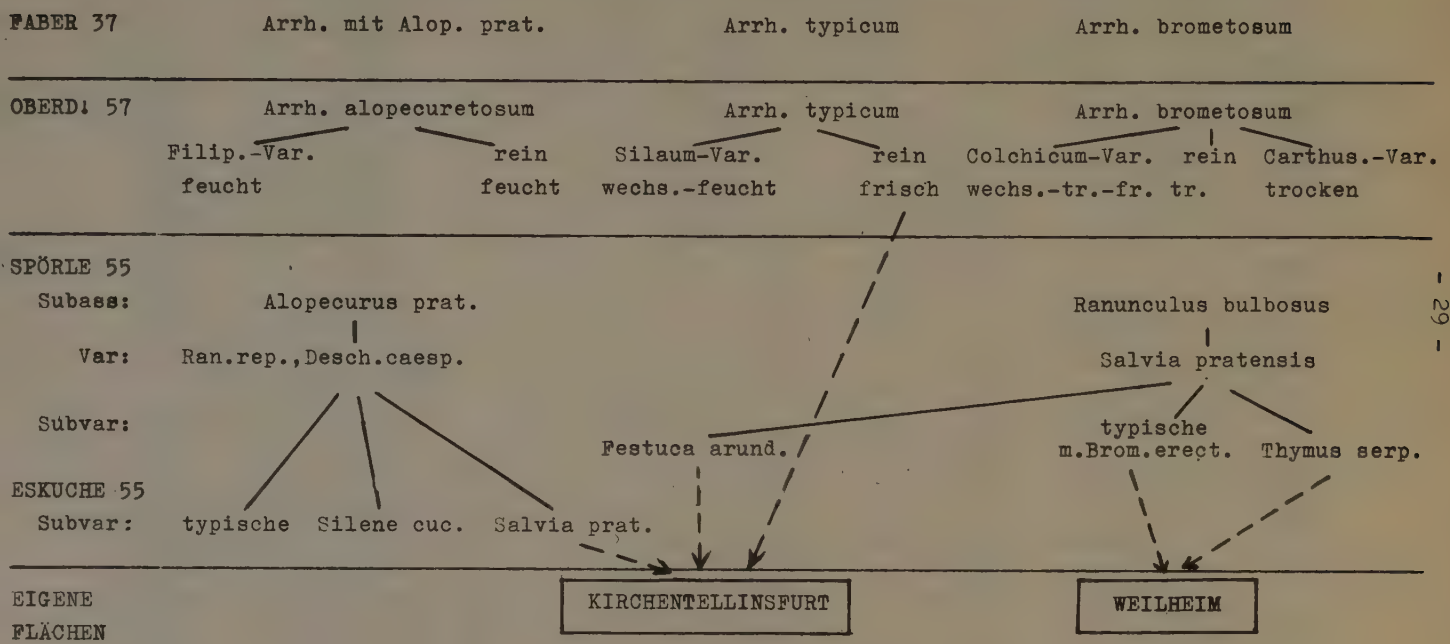
das Gelände der Versuchsfläche als Rohrschwingel-Salbeiwiese eingetragen. Diese Bezeichnung könnte beibehalten bleiben, wenn die SPÖRLEschen Trennarten Festuca arundinacea, Geranium pratense und Symphytum officinalis nach dem Beispiel von GÖRS (mdl.) um Deschampsia caespitosa, Alopecurus pratensis, Ranunculus repens und einige andere ergänzt würden. Die Rohrschwingel-Salbeiwiese besitzt dann allerdings dieselben Feuchtezeiger als Trennarten wie die Wiesenfuchsschwanzwiese, sie wird ihr gegenüber aber abgegrenzt durch das Auftreten von Salvia pratensis, Bromus erectus, Cucubalus baccifer und Ranunculus bulbosus. Die Wiese bei Kirchentellinsfurt ist in diesem Sinne eine trockene Rohrschwingel-Salbei-Glatthaferwiese, weil ihr Symphytum officinalis, Rumex crispus, Sanguisorba officinalis und Geum rivale fehlen, alle Trockenheit anzeigenden Trennarten aber vorhanden sind.

Die Zuordnung der Wiese Weilheim fällt leichter; es ist das aus dem gleichen Gebiet von FABER beschriebene Arrhenatheretum brometosum und entspricht der reinen Variante des Arrhenatheretum brometosum von OBERDORFER und der typischen Ausbildung der Trespen-Salbei-Glatthaferwiese SPÖRLEs. Nach einer feineren Gliederung von GÖRS (mdl.) kann sie als Skabiosen-Flockenblumen-Salbei-Glatthaferwiese bezeichnet werden, denn sie weist neben Salvia, Bromus, Cucubalus und Ranunculus bulb. auch Centaurea scabiosa, Scabiosa columbaria und Sanguisorba minor auf. Allerdings sind auch noch vereinzelt Frischezeiger vorhanden, Campanula patula sogar regelmäßig. Thymus serpyllum zeigt Magerkeit an, er ist jedoch nicht so stark vertreten, als daß die Gesellschaft als thymianreich zu bezeichnen wäre. Will man die Wiesen nach den durch die dominierenden Arten gekennzeichneten Typen einordnen, so sind beide Flächen zum Hafer-Schwingel-Knaul-Typ zu stellen, und zwar im Sinne von KRAUSE und SPEIDEL 1952 die Wiese Kirchentellinsfurt zum reinen Untertyp, die Wiese Weilheim zum Bromus erectus - Salvia pratensis - Untertyp.

Die Wiese auf dem Schömberg.

Die Aufnahmen ergeben eine recht homogene Zusammensetzung der Wiese und charakterisieren ihre soziologische Mittelstellung. Hauptmassenbildner und aspektbestimmend sind die Arten des Festuco-Brometea, an Zahl der Arten überwiegt jedoch das Molinio-Arrhenatheretea. Thymus pulegioides, Pimpinella saxifraga, Hieracium pilosella und

Die Stellung der untersuchten Glatthaferwiesen im Neckartal im soziologischen System.



Anthyllis vulneraria zeigen den schlechten Düngungszustand an. Auch die stark verbreiteten Moose deuten auf ungünstige Standort verhältnisse. Auf eine Bodenverdichtung weisen Linum catharticum und Luzula vulgaris, letztere außerdem auf die weitgehende Entbasung des Bodens. Die Magerrasen der sommertrockenen Kalkböden der Alb sind in der Regel zum Carlino-Brometum (= Mesobrometum montanum) zu stellen, doch kommt daneben auf frischen, länger vo Schnee bedeckten, oberflächlich entbasten Böden - und um einen solchen handelt es sich auf dem Schömberg - auch das Gentiano vernae - Brometum vor. Die Charakter- und Differentialarten dies Assoziationen treten aber auf der Versuchsfläche nicht mehr auf, nur in den Nachbarparzellen finden sich noch vereinzelt Phyteuma orbiculare und Muscari botryoides. Die Gesellschaft ist daher be zu den submontanen Fettwiesen zu rechnen. Es kommt hier das Melandrio-Arrhenatheretum OBERDORFER 57 in Frage. Die Differentialarten sind mit Primula veris und Alchemilla vulgaris aber nur ge ring vertreten; außerdem muß berücksichtigt werden, daß diese Assoziation in erster Linie auf nährstoffreichen kalkhaltigen Bö verbreitet ist. WILMANNS 1956 beschreibt ähnliche Bestände auf d Reutlinger Alb als Salvia-Variante der Subassoziation von Ranunc lus bulbosus des Arrhenatheretum montanum. KUHN 1937 bezeichnet eine von den Magerrasen zu den Fettwiesen überleitende Subassozi tion als Gentiano-Brometum arrhenatheretosum. Der Bestand entspr etwa dem Hafer-Trespentyp von KRAUSE 1950.

Ökologische Kennzeichnung.

Vergleich der Wiesen untereinander.

Zur weiteren Kennzeichnung der Gesellschaften werden die bei ELLENBERG 1952 angegebenen ökologischen Wertzahlen verwendet. Es werden zunächst aus den Wertzahlen aller Arten die M i t t e l w e r t e der Wiesen errechnet.

Dabei werden zwei Methoden angewandt:

a) Nur das Vorkommen der Pflanzen wird bewertet.
b) Der Mengenanteil wird in Form der Stetigkeitszahlen berücksichtigt.

Nach ELLENBERG 1952 a ist es bei Grünlandgesellschaften zweckmäßig, den Mengenanteil der Arten in die Rechnung eingehen zu lassen. Da direkte Schätzungszahlen des Mengenanteils, etwa nach der Methode von KLAPP, nicht vorliegen, und die errechneten Werte in diesem Zusammenhang nur orientierende Bedeutung haben, wurden die Zahlen der BRAUN-BLANQUETschen Skala nicht in Mengenanteile umgerechnet, sondern die Stetigkeitswerte als Ersatz herangezogen. Die Ergebnisse gibt Tabelle 5 wieder.

Tabelle 5 Mittlere ökologische Wertzahlen.
Zur Erklärung der Zahlen vgl. Abb. 17 - 19.

	K'furt	Weilheim	Schömberg
Feuchtezahl			
Vork:	3.o	2.7	2.6
Stetigk.:	3.o	2.8	2.5
Temperaturzahl			
Vork:	2.8	2.7	2.6
Stetigk.:	2.6	2.6	2.5
Reaktionszahl			
Vork:	4.1	4.2	4.o
Stetigk.:	4.o	4.2	4.1
gemessenes pH :	7.3	7.4	6.o

Sie ergibt, daß die Mittelwerte nur in geringem Maß die unterschiedlichen Standortsverhältnisse wiederspiegeln. Bei den Reaktionszahlen zeigt sich, daß die nur das Vorkommen berücksichtigende Methode die besseren Werte ergibt. Zur Charakterisierung der Feuchtigkeitsverhältnisse steht außerdem der Vergleich der Anzahl der Trocken- und Feuchtezeiger zur Verfügung :

	K'furt	Weilheim	Schömberg
Feuchtezeiger :	13	5	1
Trockenzeiger :	9	17	22

Einen genaueren Einblick als mit Hilfe der Mittelwerte gewinnt man, wenn die Arten nach Gruppen gegliedert und als ökologische Spektren anschaulich gemacht werden (Abb.17-19). Auch hier werden die beiden oben genannten Methoden angewandt, sie führen nur selten zu wesentlichen Unterschieden. Am deutlichsten werden die Standorte durch die Feuchtigkeitsspektren unterschieden. Die Verteilung der Reaktionsgruppen entspricht nur schwach den gemessenen pH Werten. In den Temperaturspektren kommt die (Luft-) Temperaturgunst des Neckartales nicht zum Ausdruck. Vielleicht lieg das daran, daß für die Pflanzen die Bodentemperaturen maßgebender sind (vgl. die Messungen von ELLENBERG 1952a im Körschtal bei Stuttgart). Die Bodentemperaturunterschiede zwischen dem Schömberg und dem Neckartal sind aber in der Vegetationszeit geringer als die der Lufttemperatur, da sich der Boden unter dem lockeren Bromus erectus - Bestand leichter erwärmt als unter dem dichten Bewuchs der Talfettwiesen.

Untersuchungen innerhalb der Wiesen.

Während Reaktions- und Wärmeverhältnisse innerhalb einer Versuchsfläche nur unwesentliche Schwankungen aufweisen, machen sich Unterschiede in den Feuchtigkeitsverhältnissen deutlich bemerkbar. Zu ihrer Beurteilung wurden Zahl und Häufigkeit der Feuchte- und Trockenzeiger aller Einzelaufnahmen herangezogen. Während über die als Trockenzeiger zu verwendenden Arten, oft allerdings gekoppelt mit Wärme- und Magerkeitszeigern, in der Literatur im wesentlichen Übereinstimmung herrscht, ist die Auswahl der Frische- und Feuchtezeiger recht schwierig. In der Tabelle 6 wird für einige Autoren angegeben, welche Arten sie als Feuchtezeiger bei Glatthaferwiesen verwendet haben; zum Vergleich sind auch die ELLENBERGschen Feuchtezahlen mitangeführt. Die Tabelle enthält nur Arten, die auf den eigenen Versuchsflächen gefunden wurden.

Da von allen Flächen die Bodenfeuchtigkeit vor Aufstellung des Zaunes wiederholt gemessen wurde, können diese Werte in die Analyse miteinbezogen werden. Zum Vergleich der Feuchte- und Trockenzeiger mit der Bodenfeuchtigkeit wurden drei Methoden angewandt. Von jeder Aufnahme wurden errechnet :

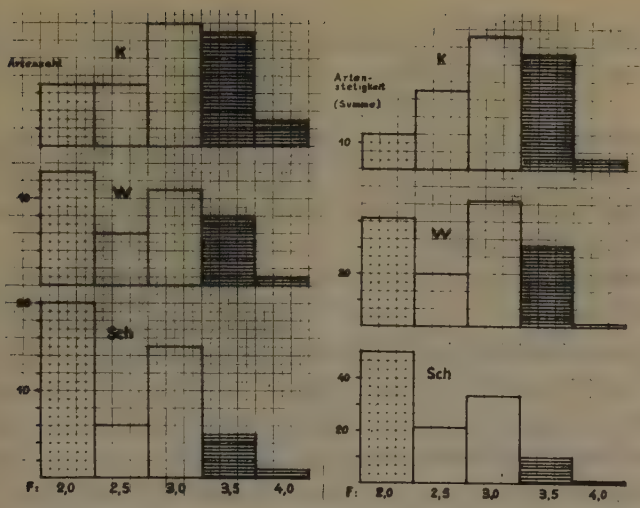


Abb. 17 Feuchtigkeitsspektren der Versuchswiesen. Links nur das Vorkommen der Arten, rechts ihr Mengenanteil berücksichtigt. F 2 vorwiegend auf trockenen, F 3 auf frischen, F 4 auf feuchten Standorten.

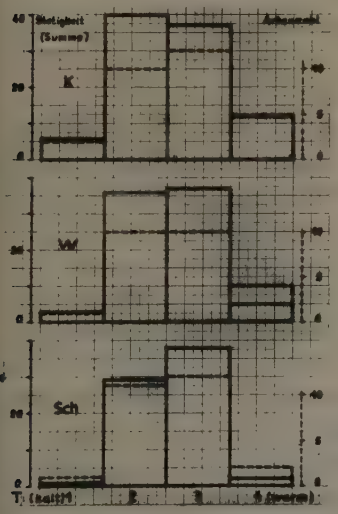


Abb. 18 Temperaturspektren.
T 1 stark kälteertrgd.
T 2 kälteertragend
T 3 mäßig kälteertragend
T 4 wärmeliebend.

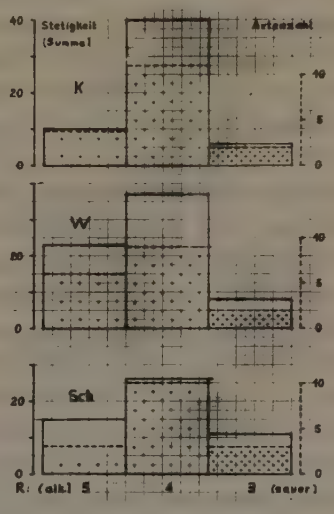


Abb. 19 Spektren der Reaktionsgruppen. R 5 neutral-alkalisch, R 4 schwach sauer-alkalisch, R 3 vorwiegend schwach sauer

a) Der Gruppenanteil der Zeiger nach TÜXEN und ELLENBERG 1937, d.h. die Zahl der Zeigerarten in Prozent der Gesamtartenzahl.
b) Die Gruppenmenge der Zeiger nach TÜXEN und ELLENBERG 1937 und BRAUN-BLANQUET 1946. Hierbei werden die BRAUN-BLANQUETschen Schätzungszahlen in Prozentzahlen des Mengenanteils umgerechnet.
c) Die Gruppenmenge, indem die Artmächtigkeitszahlen direkt verwendet wurden.

Es ergab sich, daß die Werte des Gruppenanteils die beste Übereinstimmung mit den Bodenfeuchtigkeitswerten zeigen. Diesen Vergleich machen die Abb. 2o - 22 anschaulich. Die Einzelpunkte der Kurven wurden bei den Gruppenanteilen aus den vier Aufnahmen je Säule, bei der Bodenfeuchte aus je 15 in 5 cm und 15 cm Tiefe durchgeführten Messungen gemittelt.

Der weitgehend parallele bzw. spiegelbildliche Verlauf der Kurven ist ein guter Hinweis dafür, daß die Auswahl der Zeigerarten richtig ist und daß mit der hier durchgeführten Methodik der Bodenfeuchtemessung die Standortsverhältnisse recht genau ermittelt werden können. Es wird deutlich, mit welcher Genauigkeit der Gruppenanteil die Bodenfeuchte anzeigt: innerhalb einer Bodenfeuchteamplitude von nur 1 Vol. % ändert sich z.B. der Anteil der Trockenzeiger in Kirchentellinsfurt von 4 - 13 %. Einschränkend muß allerdings erwähnt werden, daß für das Vorkommen der Trockenzeiger weniger die Mittelwerte als die Extremwerte, z.B. in Dürreperioden, maßgebend sind. Auch ist ja die Bodenfeuchte im ökologischen Sinn kein eindeutiger Begriff (ELLENBERG 1952a, WALTER 196o). In Kirchentellinsfurt verlaufen die Bodenfeuchtekurven von 5 cm und 15 cm annähernd parallel (vgl. Abb. 74), deshalb wird nur die mittlere Feuchte aus beiden Horizonten wiedergegeben. In Weilheim ist die Bodenfeuchte in 5 cm wesentlich gleichmäßiger als in 15 cm; ausschlaggebend für die Zeigerpflanzen ist der obere Horizont. Das letztere gilt auch für den Schömberg.

Ergänzend sollen die Verhältnisse zwischen Gruppenanteil der Feuchtezeiger und der Bodenfeuchtigkeit aus den Werten von Kirchentellinsfurt an Hand der Abb. 23 näher gekennzeichnet werden. In ihr werden Gruppenanteil und Bodenfeuchte der einzelnen Aufnahme-

T a b e l l e 6

Feuchtezeiger in Glatthaferwiesen.

: ELLENBERG 1952; Feuchtezahlen, 4 = vorwiegend auf feuchten Standorten,
3 = vorwiegend auf frischen Standorten,
0 = weitgehend indifferent.

OBERDORFER 1957, Sp: SPÖRLE 1955, Es: ESKUCHE 1955,
n: SCHNEIDER 1954, Kr: KRAUSE 1950, Lu: LUTZ und DANCAU 1953.
als Feuchtezeiger verwendet, - = nicht verwendet. Von KRAUSE und
Z liegen keine vollständigen Artenlisten vor.

	Ell.	Ob.	Sp.	Es.	Schn.	Kr.	Lu.
Bei eigenen Untersuchungen als Feuchtezeiger verwendet:							
Filipendula ulmaria		x	x		-	x	x
Deschampsia caespitosa	4,0	x	x	x		x	
Festuca arundinacea			x	-			
Alopecurus pratensis		x	x	x	x		x
Ranunculus repens		x	x			x	
Lysimachia nummularia	3,5	-	-		x		x
Campanula patula		-	-	-	-	x	x
Lychnis flos cuculi			-	-	-		
Colchicum autumnale		x	-	-	-		
Geranium pratense	3,0	-	x				
Melandrium diurnum			-	x	x		
Ranunculus ficaria	0		-		x		
Carex hirta	0		-				
Nicht als Feuchtezeiger verwendet:							
Cardamine pratensis		-	-	x	-	x	
Glechoma hederacea			-	x	-		
Ajuga reptans		-	-	x	-		
Cynosurus cristatus		-	-	-	-		
Holcus lanatus	3,5	-	-	-	-		
Festuca pratensis		-	-	-	-		
Poa trivialis		-	-	-	-		
Lathyrus pratensis		-	-	-	-		
Festuca rubra	0	-	-	-	-		x

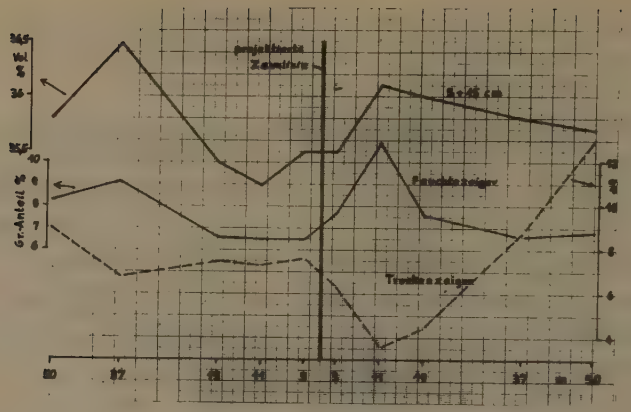


Abb. 20 Mittlere Bodenfeuchte und mittlerer Gruppenanteil der Feuchte- und Trockenzeiger in Kirchentellinsfurt.

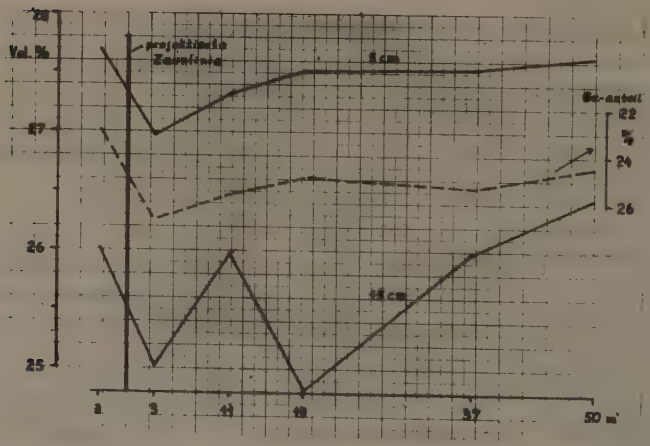


Abb. 21 Mittlere Bodenfeuchte in 5 cm und 15 cm und mittlerer Gruppenanteil der Trockenzeiger in Weilheim.

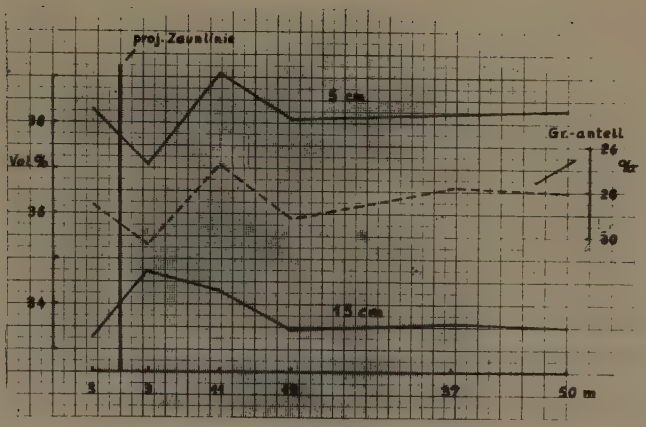


Abb. 22 Mittlere Bodenfeuchte in 5 cm und 15 cm und mittlerer Gruppenanteil der Trockenzeiger auf dem Schömberg.

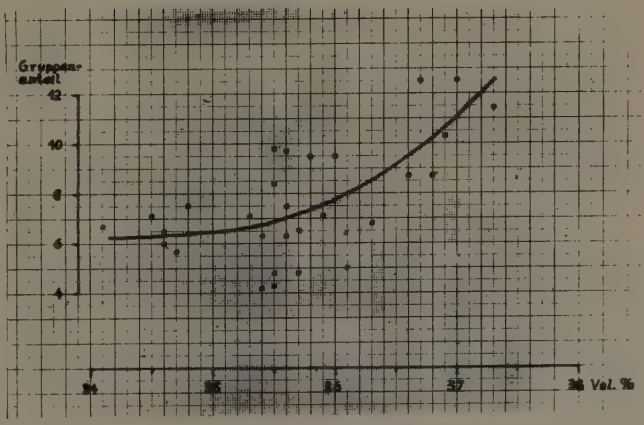


Abb. 23 Gruppenanteil der Feuchtezeiger und mittlere Bodenfeuchte in Kirchentellinsfurt.

flächen zueinander in Beziehung gesetzt. (Da jede Säule 4 Aufnahmeflächen, aber nur 3 Bodenfeuchtemeßstellen hat, wurden die beiden mittleren Flächen für die Berechnung des Gruppenanteils zusammengelegt). Die Lage der allerdings noch geringen Zahl der Einzelwerte macht wahrscheinlich, daß der Gruppenanteil mit steigender Bodenfeuchte nicht linear, sondern zuerst langsam und dann schneller wächst.

D I E W I N D V E R H Ä L T N I S S E

Meßmethodik.

Die Windgeschwindigkeit wurde mit Schalenkreuzanemometern der Firma Fueß gemessen. Sie sind dreischalig, besitzen ein Windwegzählwerk und horizontale Leitflächen. Die Anlaufgeschwindigkeit beträgt etwa o,4 m/sec. Messungen der prozentualen Windverteilung können aber erst ab 1 m/sec. begonnen werden, da die Abschwächung in Lee berücksichtigt werden muß. Die M e s s g e n a u i g k e i t der Schalenkreuzanemometer wurde von NOETZLIN 1941 eingehend geprüft. Bei boeigem Wind zeigen sie höhere Werte als die wahre Strömungsgeschwindigkeit an, denn bei Windzunahme wird die konkave Seite der Schale wirksam, bei Abnahme die konvexe, und dementsprechend erfolgt die Energieaufnahme rasch, die Abgabe langsam. Die Mehranzeige des Gerätes wächst mit der Häufigkeit und dem Ausmaß der Windstöße sowie dem Trägheitsmoment der Schalenkreuze. NOETZLIN fandFehler bis zu 5 %. Gegen Schräganblasung sind die Anemometer bis zu einem Winkel von 3o° unempfindlich, von 3o - 45° zeigen sie einen geringen, praktisch zu vernachlässigenden Einfluß (KAISER 1959a). Dieser Umstand macht sie für Windschutzuntersuchungen mit zum Teil erheblichen Vertikalkomponenten der Windgeschwindigkeit besonders geeignet. Alle Geräte besitzen Prüfscheine mit Eichkurven, nach der die Windgeschwindigkeit in m/sec. abgelesen wird. Zur Ermittlung der Anzeigegenauigkeit wurden die vorhandenen 4 Anemometer auf 2,2o m hohe Pfähle geschraubt und in 8 Meßreihen von 1o Min. Dauer geprüft. Es ergaben sich folgende Werte (Mittel der Meßreihen = 1oo %) :

Anemometer	a	b	c	d
tiefster Wert %	94,7	96,5	99,5	98,1
höchster " %	97,2	1o1,4	1o3,5	1o2,8
durschn.Abw. %	3,8	1,6	1,3	1,4

Die Genauigkeit der Anemometer b bis d ist gut; die von Anemometer a angezeigten Werte wurden bei allen weiteren Meßreihen um + 4 % verbessert. Eine Blindprobe am Schluß der Untersuchungen zeigte, daß sich die Anzeigegenauigkeit nicht verändert hatte.

Zur Frage der M e ß d a u e r muß die Struktur des Windes sowie die Ablesdauer beim Meßgang berücksichtigt werden. Die Grobstruktur des Windes (oder Windform) wird durch die metereologischen Einflüsse hervorgerufen und besteht im wesentlichen in einem An- und Abschwellen der Geschwindigkeit von einigen Minuten Dauer. NÄGELI 1953 fand bei einem starken Wind von 11 m/sec. eine mittlere Periodendauer von 2 - 3 Minuten und eine Amplitude von etwa 4 m/sec. Die Feinstruktur (oder Textur) hängt von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche ab. Diese bedingt kurzfristige Pulsationen von einigen Sekunden Dauer - die eigentliche Boeigkeit - und mit einer Amplitude von etwa 15 % (ROBITSCH zit. bei NOETZLIN 1941). Mit kürzerer Meßdauer steigt die Streuung der Werte also sehr an. Nach GRUNOW 1955 beträgt sie bei einer Meßdauer von 1 Min. etwa 3o % mehr als bei 1o Min. Meßzeiten von 1oo sec. wie z.B. bei Windschutzuntersuchungen von FUSS 1954/55 führen zu hohen Streuungen. Aus diesen Erwägungen und nach den Empfehlungen der internationalen meteorologischen Organisation (GRUNOW 1955) wurde mit einer Meßdauer von 1o Minuten gearbeitet. Das Abstellen der Zählwerke erfolgte stets in der gleichen Reihenfolge und dauerte nie länger als 15 sec., das Ablesen wurde erst danach vorgenommen.

Bei der Wahl der A u f s t e l l u n g s h ö h e der Anemometer wurde von zwei Erwägungen ausgegangen. Einmal sollte die Windgeschwindigkeit im Hinblick auf die ökologische Fragestellung möglichst nahe am Pflanzenbestand gemessen werden, zum anderen in einer Höhe, in der sie nicht zu sehr von den Unebenheiten der Bestandsoberfläche beeinflußt wird. GEIGER 195o empfiehlt 1,4 m. Bei den vorliegenden Messungen, die alle im Februar und März 196o bei einer Bestandshöhe von 1o - 15 cm stattfanden, wurde 3o-35 cm als Anemometerhöhe gewählt. Zur Prüfung des Bestandseinflusses wurden 5 Meßreihen durchgeführt, bei denen die Anemometer nach jeder Messung seitlich versetzt wurden. Die durchschnittliche Abweichung betrug nur 1 - 3 %.

Die Messungen wurden bei Winden vorgenommen, die nicht mehr als 15^{o} von der Senkrechten auf den Zaun abwichen. Die dadurch hervorgerufene Verlängerung der Strecke Zaun - Meßpunkt ist gering,

bei 15° beträgt sie 3,8 %, das entspricht z.B. einer Verschiebung des 37 m - Meßpunktes auf 38,4 m. Zur Orientierung über die Strömungsverhältnisse wurden Seifenblasen verwendet.

Die Windverteilung bei senkrechter Anblasung.

Zur Ermittlung der Windverteilung wurden rund 2oo Meßreihen durchgeführt. Da nur 4 Anemometer zur Verfügung standen, mußte die Gesamtstrecke stückweise gemessen werden. Ein Anemometer diente jeweils zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit im Freiland. Von den erhaltenen Windkurven zeigen die Abb. 24 - 26 eine Auswahl. Aus den Kurven in Lee ist ersichtlich, daß die Entfernung des Windminimums vom Zaun mit zunehmender Windgeschwindigkeit wächst. Der zaunnahe Bereich zeichnet sich durch stark wechselnde Verhältnisse aus.

Zur weiteren Auswertung wurden die Meßreihen nach der Größe ihrer Freilandwindgeschwindigkeit geordnet und in 4 Geschwindigkeitsbereiche eingeteilt. Durch eine Umrechnung der m/sec.-Werte in Freilandprozente konnten dann durchgehende Windkurven ermittelt werden. Sie werden in Abb. 27 wiedergegeben. Ihre Genauigkeit wird dadurch etwas beeinträchtigt, daß die Einzelpunkte aus verschieden vielen Einzelwerten berechnet werden mußten. Dazu geben aber die in der Tab. 7 enthaltenen Angaben über die Anzahl der Messungen und die Schwankungsbreite nähere Auskunft. Im Vergleich zu anderen Windmessungen ist die Schwankungsbreite gering; v. ELMERN 1957 z.B. fand hinter einer Doppelbaumreihe Werte zwischen 58 % in Zaunnähe (die Windgeschwindigkeit schwankte also z.B. zwischen 28 % und 86 % der Freilandgeschwindigkeit) und 16 % in Zaunferne bei 15 H.[1] Die Kokosfasermatten haben gegenüber Hecken oder Baumreihen für solche Versuche den großen Vorteil, daß sie ein regelmäßig strukturiertes Hindernis darstellen und sich die Durchlässigkeit mit der Windgeschwindigkeit nicht nennenswert ändert.

Es soll zunächst der Kurvenverlauf ohne Berücksichtigung des Einflusses der Windstärke behandelt werden. In Luv beginnt die Windgeschwindigkeit bei 1o H unter den Freilandwert zu sinken und erreicht bei 1/2 H das luvseitige Minimum mit 25 %iger Abschwächung. Dann wirkt sich die Verringerung des Strömungsquerschnittes aus, und die Geschwindigkeit nimmt bis zum Zaun um 5 - 1o % zu. Hinter dem Zaun sinkt sie entsprechend der plötzlichen

1) H=Entfernung in Höhe des Schutzzaunes.

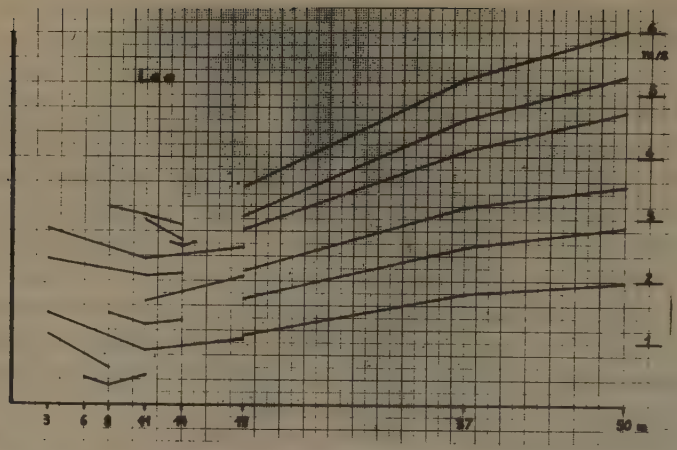


Abb. 24 Ausgewählte Meßreihen der Windgeschwindigkeit in Lee.

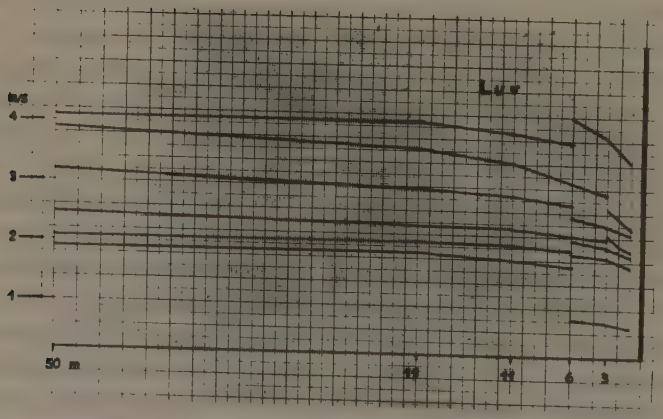


Abb. 25 Ausgewählte Meßreihen der Windgeschwindigkeit in Luv.

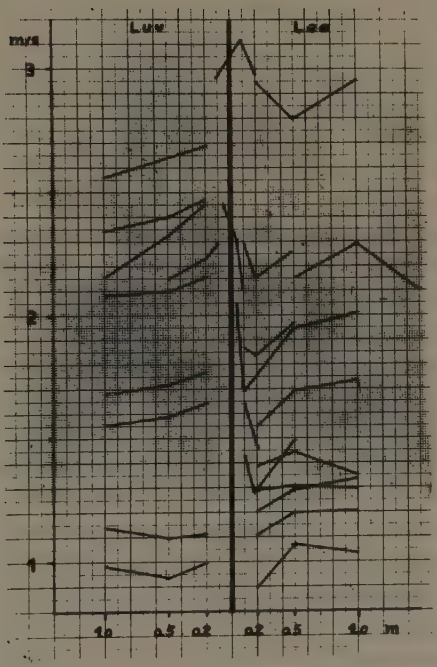


Abb. 26 Ausgewählte Meßreihen der Windgeschwindigkeit in Zaunnähe.

Vergrößerung des Strömungsquerschnittes sehr rasch und bilde in unmittelbarer Zaunnähe ein zweites Minimum. Nach einem ku Aufstieg beginnt ab 1/2 H die eigentliche Leeschutzzone. Zwi 4 und 7 H liegt das dritte und stärkste Minimum, und nach la samem Ansteigen erreicht die Windkurve den Freilandwert bei

Wie verhalten sich diese Ergebnisse zu solchen anderer Wi schutzuntersuchungen? Als Grenze für den luvseitigen Schutzb reich wird von allen Autoren übereinstimmend 5 - 1o H angege Für die Reichweite in Lee gehen die Angaben dagegen sehr aus der. NOKKENTVED fand in Jütland und MARZELL in Ungarn (beide bei NÄGELI 1946) 6o - 7o H, FRANKEN und KAPS 1957 im Emsland und Th. MÜLLER 1956 auf der Schwäbischen Alb 25 H. NÄGELI 194 1953 gibt für seine zahlreichen Messungen an, daß die Schutzw im Durchschnitt bis 28 H, selten über 3o H, aber nie über 4o reichte. Eine große Schwankung stellte SCULTETUS 1958 in West fest, er fand 22 - 4o H. Die großen Reichweiten in Jütland un Ungarn müssen mit dem Landschaftscharakter - baumarme weite E in Verbindung gebracht werden. Eine Rolle spielt ferner die L lässigkeit der Schutzstreifen und die Art der Luftmasse.

Bei den vorliegenden Windkurven wurde gemäß dem Anlageplan ganzen Untersuchung angenommen, daß bei 5o m Entfernung = 25 H Freilandwindstärken herrschen. Eine genaue Untersuchung mit 6 reihen bei etwa 4 m/sec. Freilandwindgeschwindigkeit ergab abe daß die Abschwächung weiter reicht. Im Mittel betrug die Windg schwindigkeit bei 5o m erst 9o % des Freilandwertes. Dieses Er nis, erst am Schluß der Versuchsserie gewonnen, ist bei der Da stellung der übrigen Windmessergebnisse nicht berücksichtigt w den. Wie später ausgeführt wird, kommt ihm für die Praxis auhh keine Bedeutung zu.

Die genaue Bestimmung der Reichweite ist sehr schwierig, den die Zone der Windabschwächung geht ganz allmählich in die des Freilandes über. Hierzu ist eine Beobachtung vom 12. Januar 195 auf dem Feld Weilheim von Interesse. Die Windschutzzone hob sic deutlich durch eine lockere, gekräuselte Schneeoberfläche gegen über der glatten des Freilandes ab und reichte bis zu 45 H; der Schnee war also ein sehr feiner Indikator für die Schutzwirkung

Die Gesetzmäßigkeiten für die Lage und Größe des Windminimum hat NÄGELI 1946 beschrieben. Es ist um so ausgeprägter und rück

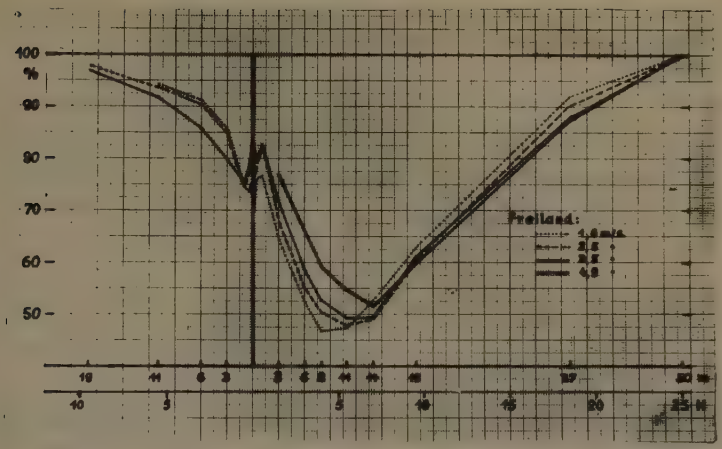


Abb. 27 Der Verlauf der Windverteilungskurven.
(Für die Zaunnähe vgl. Abb. 29).

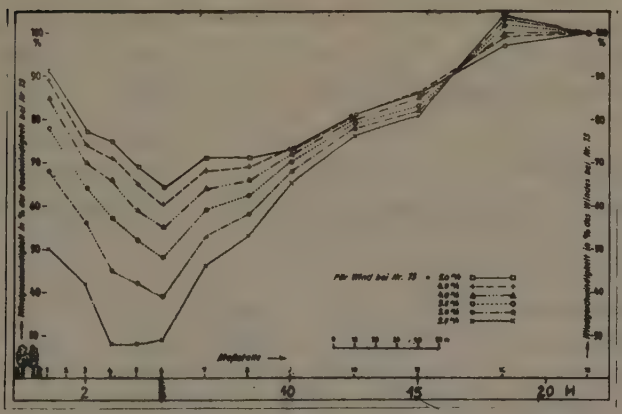


Abb. 28 Der Verlauf der Windverteilungskurven
nach v. EIMERN 1957.

T a b e l l e 7

Daten zur prozentualen Windverteilung.

Geschwindigkeitsbereiche	I	II	III	IV
Frld.windgeschwindigkeit m/sec:	1-2	2-3	3-4	4-6
Anzahl der Meßreihen :	49	83	55	12
Mittlere Frld.windgeschw.m/sec:	1,6	2,5	3,5	4,9
a) Luv				
Entf. v. Zaun in m	19	11	6	3
Bereich I				
Anzahl der Messungen		4	4	4
Schwankungsbreite %		3	3	2
Relat. Windgeschwindigkeit %		94	91	86
Bereich II				
Anzahl der Messungen	3	6	8	9
Schwankungsbreite %	4	6	6	9
Relat. Windgeschwindigkeit %	97	94	9o	85
Bereich III				
Anzahl der Messungen	9	9	7	6
Schwankungsbreite %	9	8	1o	8
Relat. Windgeschwindigkeit %	97	92	86	8o

b) Zaunnähe	Luv				Lee		
Entf. v. Zaun in m	1,o	o,5	o,2	o,1	o,1	o,2	o
Bereich I							
Anzahl der Messungen	12	12	12			1o	1
Schwankungsbreite %	13	7	8			11	1
Relat.Windgeschw. %	75	73	75			7o	7
Bereich II							
Anzahl der Messungen	12	1o	1o	9	8	12	1
Schwankungsbreite %	9	5	4	5	16	15	1
Relat.Windgeschw. %	75	77	79	81	77	76	8

	Luv				Lee		
Entf.v. Zaun in m	1,o	o,5	o,2	o,1	o,1	o,2	o,5	1,o
Bereich III								
Anzahl d. Messungen	7	4	9	3		6	5	1o
Schwankungsbreite %	5	5	5	3		13	12	1o
Relat.Windgeschw. %	75	78	81	83		81	8o	82

c) Lee

Entf.v. Zaun in m	3	6	8	11	14	19	37
Bereich I							
Anzahl d. Messungen	6	8	9	5	6	6	9
Schwankungsbreite %	22	19	15	7	1o	5	7
Relat.Windgeschw. %	65	53	47	47	53	63	92
Bereich II							
Anzahl d. Messungen	8	1o	11	11	11	12	12
Schwankungsbreite %	7	1o	9	12	7	12	9
Relat.Windgeschw. %	68	55	51	48	49	61	91
Bereich III							
Anzahl d. Messungen	6	6	6	11	9	8	9
Schwankungsbreite %	8	9	5	8	5	4	2
Relat.Windgeschw. %	72	59	53	49	49	61	89
Bereich IV							
Anzahl d.Messungen	2		1	7	4	7	6
Schwankungsbreite %	7			4	4	2	2
Relat.Windgeschw. %	75		59	55	52	6o	88

um so näher an das Hindernis heran, je undurchlässiger dieses ist. Die von NÄGELI als locker bezeichneten Hindernisse waren wahrscheinlich weniger als zu 5o % durchblasbar, denn das Minim lag nie weiter als 4 H entfernt und wies immer noch eine 6o - 7 Windabschwächung auf. Die Ergebnisse anderer Autoren bleiben im demselben Rahmen, z.B. ILLNER und GANDERT 1956. Die hier gefund Verhältnisse weichen erheblich davon ab; das Minimum liegt mit 4 - 7 H weit vom Zaun entfernt und ist mit 5o %iger Abschwächun gering ausgeprägt.

Der Einfluß der Windstärke.

Die Berichte über den Einfluß der Windstärke auf die prozentuale Windverteilung sind sehr uneinheitlich. Von FUSS 1954/55, BLENK 1956 und KAISER 1959 werden keine Einflüsse festgestellt. Einen abnehmenden Bremseffekt mit steigenden Windgeschwindigkei finden DENUYL und WÖLFLE (beide zit. bei NÄGELI 1943), ARZT 19 und KREUTZ 1952b. Bei KREUTZ 1938 ist die Abnahme sogar sehr gr bei o,7 m/sec. Freilandwind 28 %ige Abschwächung, bei 3 m/sec. noch 1o %ige. Umgekehrt ermittelt NÄGELI 1946 hinter dichten Fi tenstreifen eine größere Schutzwirkung mit zunehmendem Wind, äh lich MÜLLER 1956 hinter Hecken. Eine eingehende Untersuchung un nahm v. EIMERN 1957 hinter einer Doppelbaumreihe (Abb. 28). Hi zeigt sich, daß die Kurven verschiedener Windstärke einander kr zen. Bis zu einer bestimmten Entfernung wird der Bremseffekt mi zunehmender Windgeschwindigkeit kleiner, danach aber größer. Be den eigenen Messungen ist dieser Schnittpunkt auch vorhanden, e liegt aber wesentlich näher am Hindernis (Abb. 27). Damit wird die Wahrscheinlichkeit groß, daß die Widersprüche der Ergebniss früherer Untersuchungen durch vom Hindernis verschieden weit ent fernte Meßpunkte verursacht sind.

Ähnlich wird es bei BRASSE 1954 sein. Er führte seine Untersuchungen auf einer 3o x 1o m großen, allseits von 2 m hohen Matten umgebenen vegetationsfreien Fläche durch. Der Windmesser befand sich 1o cm über dem Boden in der Mitte des Rechtecks, als von der einen Mattenwand 5 m, von der anderen 15 m entfernt. BRASSE fand mit steigenden Windgeschwindigkeiten teils eine Verminderung, teils eine Verstärkung der Schutzwirkung. Da die Wind richtung in die Überlegungen nicht einbezogen wurde, ist wahrsch

lich, daß die Meßstelle je nach der Windrichtung entweder vor oder hinter dem Schnittpunkt der Windverteilungskurven lag.

Außer der Verschiebung des Schnittpunktes weisen die Windkurven bei v. EIMERN noch andere Unterschiede zu den eigenen Messungen auf. Der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf die Entfernung des Minimums vom Hindernis wird nur bei schwachen Winden sichtbar, während der Einfluß auf die Höhe des Minimums viel stärker ausgeprägt ist. Die Ursachen dafür werden einmal in dem anderen Hindernis, der Doppelbaumreihe, und in der anderen Aufstellungshöhe der Windmesser (1,5m)zu suchen sein. Gerade letztere wirkt sich auf den Verlauf der Windkurve erheblich aus, wie Untersuchungen im Windkanal von BLENK 1952 und 1953, BLENK und TRIENES 1956 und TRIENES 1957 sowie im Freiland von NÄGELI 1953 ergeben haben. Bei Messungen in 3 m Höhe erhielt v. EIMERN auch ein anderes Ergebnis: bei 2 und 5 H nahm die Bremswirkung mit zunehmender Windgeschwindigkeit - wie bei der Anemometerhöhe von 1,5 m - ab, aber schon bei 8 H nahm sie zu; d.h. der Schnittpunkt der Kurven muß zwischen 5 und 8 H liegen und damit schon weit mehr den eigenen Ergebnissen entsprechen.

Unter diesen Aspekten muß die Annahme NÄGELIs neu durchdacht werden, daß jeder Schutzstreifen für den hindurchziehenden Luftstrom ein bestimmtes Fassungsvermögen besitzt und nur bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit die maximale Schutzwirkung hat. Unter den Versuchsbedingungen der eigenen Messungen erscheint es vielmehr so, daß sich zwar die Windverteilung ändert, die Schutzwirkung insgesamt aber etwa gleich bleibt.

Besonderes Interesse haben die Verhältnisse in unmittelbarer Z a u n n ä h e (Abb. 29). Die Schwankungsbreite der Windgeschwindigkeit ist hier hoch, so daß die Genauigkeit der Werte trotz vieler Einzelmessungen geringer ist. Der Geschwindigkeitsanstieg in luvseitiger Zaunnähe wurde auch von KREUTZ 1952c und anderen beobachtet. Der Anstieg erfolgt um so steiler, je mehr sich der Luftstrom dem Zaun nähert. Der prozentuale Anteil des durch den Schutzstreifen wehenden Windes steigt mit wachsender Freilandwindgeschwindigkeit (so auch BATES, zit. bei KAISER 1959), WOELFLE (zit. bei NÄGELI 1943) fand bei einem Fichtenstreifen sogar eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit über die des Freilandes hinaus,

Die Lage der Minima und Maxima konnte mit nur 4 Anemometern genau ermittelt werden, aus der Abb. 29 ist ersichtlich, wel Werte gemessen und inwieweit der Kurvenverlauf erschlossen w Die Windverteilungskurve des ganzen Schutzbereiches besitzt 3 Minima. Bei allen herrscht offensichtlich folgende Gesetzl keit: Je geringer die Freilandwindgeschwindigkeit, desto näh am Zaun liegen sie und desto stärker sind sie ausgeprägt.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde außer acht gelasse der T u r b u l e n z g r a d der Luft großen Einfluß auf Strömungsverhältnisse im Windschutz hat. Er wird in der Haup bedingt durch die Rauhigkeit der Landschaft und durch die üb Meßfeld lagernden Luftmassen. So wird die schon erwähnte gro Reichweite der Schutzzone in der weitgehend von Baum und Str ausgeräumten und siedlungsarmen Pußta großenteils auf die ge Turbulenz zurückzuführen sein. Liegt über dem Meßfeld eine k

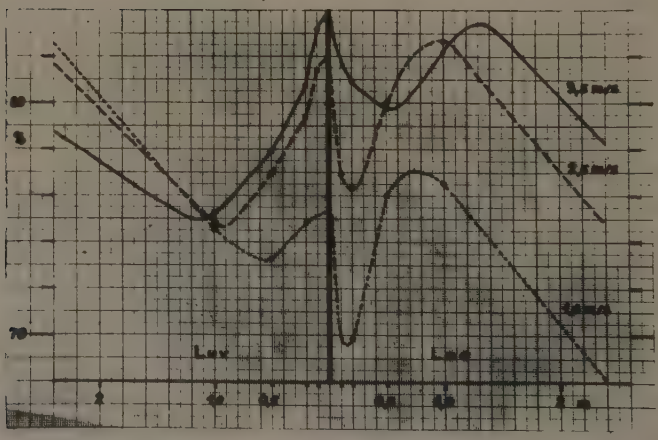


Abb. 29 Die Windverteilungskurven in Zaunnähe. Die Meßwerte sind durch Punkte hervorgehoben.

Luftmasse, so wird der Temperaturgradient und mit ihm der Austausch und die Turbulenz groß und die Reichweite der Schutzzone kleiner. Umgekehrt ist es bei stabiler Warmluft. Nach Untersuchung von SCULTETUS 1958 kann das Ausmaß der durch die Luftmassen hervorgerufenen Unterschiede erheblich sein. So betrug z.B. die Reichweite hinter einem 8 m hohen Kiefernstreifen bei Polarluft nur reichlich 2o H, bei Tropikluft aber bis zu 4o H. Das Minimum ist bei Kaltluft stark ausgeprägt und nahe am Zaun, bei Warmluft schwächer und weiter entfernt. Die Windverteilungskurven für Warm- und Kaltluft kreuzen sich etwa bei 5 H wie die Kurven verschiedener Windstärken.

SCULTETUS hat bei seinen Untersuchungen den Einfluß der Windstärke nicht eliminiert. Umgekehrt wurde bei den eigenen Messungen (sowie bei v. EIMERN) die Luftmasse nicht berücksichtigt. Die dadurch entstandenen Fehler können aber nicht groß sein, denn in der Regel wurden am gleichen Tage die hohen Windgeschwindigkeiten mittags, die niedrigen gegen Abend gemessen. Die Unterschiede zwischen den Kurven haben sich dadurch eher verkleinert, denn gegen Abend sinken mit dem Temperaturgradienten Austausch und Böigkeit, und die Reichweite wird dadurch vergrößert. Da die Häufigkeit warmer und kalter Luftmassen mit der geographischen Lage wechselt, ist auch dieses Mengenverhältnis neben der allgemeinen Rauhigkeit für die Ausbildung des Schutzbereichs und besonders seiner Reichweite von Bedeutung.

Zu diesen topographischen und klimatischen Faktoren tritt noch die Beschaffenheit des Bestandes, über dem die Messungen gemacht werden, hinzu. KREUTZ 1952 verglich in einer bestimmten Entfernung vom Hindernis die Windabschwächung über schwingendem Weizen und starren Ackerbohnen. Er fand, daß die maximale Abschwächung über Weizen bei o,5 m/sec., über Ackerbohnen bei 1,5 m/sec. Freilandwindgeschwindigkeit liegt. Ähnlich wie der Weizen wird sich Getreide allgemein verhalten, während die Verhältnisse über Hackfrucht denen über Ackerbohnen ähneln werden; Wiesen werden je nach Bestandshöhe eine Mittelstellung einnehmen.

Überblickt man die bisher untersuchten Einflüsse auf die Windverteilung im Schutzbereich, so wird wahrscheinlich, daß sich die Kurven im Prinzip immer in gleicher Weise ändern; und zwar

wirken sich zunehmende Undurchlässigkeit des Hindernisses, geringere Windgeschwindigkeit und größere Turbulenz gleichgerichtet dahingehend aus, daß das Minimum stärker ausgeprägt ist, näher am Hindernis liegt und daß die Reichweite des Schutzbereichs geringer ist. Wieweit der Einfluß der Beschaffenheit des Bestandes hier eingeordnet werden kann, läßt sich noch nicht sagen.

Windhindernisse bremsen nicht nur den Wind, sondern verändern auch seine Turbulenz. Da diese sich auch in der Schwankungsbreite der Windgeschwindigkeit ausdrückt, kann letztere als Maß für den Turbulenzgrad ausgewertet werden. Aus der Tab. 7 ergeben sich dabei bemerkenswerte Zusammenhänge mit der Windstärke. In der Luvzone entspricht die Turbulenz dem Zustand im Freiland. Die schwachen Winde fließen mehr laminar, die stärkeren sind turbulenter. In der zaunnahen Zone kehrt sich dieses Verhältnis plötzlich um; die langsame laminare Strömung wird durch den Zaun in größere Turbulenz versetzt, während die schnellere turbulente Strömung - vielleicht durch die Düsenwirkung der Zaunmaschen - beruhigt wird. In Lee steigt die Turbulenz unmittelbar am Zaun in allen Windgeschwindigkeitsbereichen stark an und nimmt zum Freiland hin bei schwachen Winden allmählich, bei starken schnell ab. An der leeseitigen Grenze des Schutzbereiches ergibt sich also, daß die schwächeren Winde turbulenter sind als vor Eintritt in den Schutzbereich, die stärkeren dagegen an Boeigkeit verloren haben. Diese Zusammenhänge werden durch die mittlere Schwankungsbreite der Schutzbereichszonen in Tab. 8 deutlich gemacht.

T a b e l l e 8.

Mittlere Schwankungsbreite der relativen Windgeschwindigkeit

(Mittelwerte aus Tab. 7)

Geschw.bereich	L u v 19 - 3 m	Z a u n n ä h e 1 - o,1 m	o,1 - 1m	L e e 3 - 37 m
I (1-2 m/sec.)% :	3	9	12	12
II (2-3 m/sec.)% :	6	6	15	9
III (3-4 m/sec.)% :	9	5	12	6
IV (4-6 m/sec.)% :				4

Für das Windschutzproblem ergibt sich daraus, daß neben dem mit Hilfe der Windgeschwindigkeit definierten Begriff des Schutzbereiches ein T u r b u l e n z b e r e i c h (Bereich erhöhter Turbulenz) tritt. Er zeichnet sich dadurch aus, daß seine Grenze sich mit der Freilandwindgeschwindigkeit weit mehr verschiebt als es beim Schutzbereich der Fall ist. Bei schwachen Winden reicht er über den Schutzbereich hinaus, bei starken ist er auf ein kleines Gebiet leeseitiger Zaunnähe beschränkt.

In gleiche Richtung deutende Zusammenhänge zwischen Windstärke nd Schwankungsbreite fanden v. EIMERN 1955 und FRANKEN und KAPS 957. Über eine allgemeine Erhöhung der Turbulenz in Lee berichtet AISER 1959. Eine Zone besonders starker Turbulenz zwischen 4 und H, wie sie NÄGLI 1953, oder zwischen 8 und 9 H, wie sie v. EIMERN 954 feststellte, kann nicht bestätigt werden. Die Ansicht von RIENES 1954, daß die Turbulenz durch feines Astwerk ausgekämmt und adurch herabgesetzt wird, erscheint nach diesen Ergebnissen am okosfaserzaun zweifelhaft. Das gleiche gilt für die Annahme NÄGELIs 946, daß die Verminderung der Schutzwirkung mit zunehmender Windtärke durch eine Erhöhung der Turbulenz verursacht wird.

ie Schutzwirkung während eines längeren Zeitraumes.

So wichtig die Kenntnis der Windverteilung bei senkrechter Anlasung auch ist, sagt sie doch nichts aus über die effektive chutzwirkung, die die einzelnen Parzellen während eines längeren eitraumes erhalten. Diese Seite der Windschutzforschung wurde ange vernachlässigt; erst in letzter Zeit wird ihr mehr Beachtung eschenkt, so z.B. bei v. EIMERN 1957 und FRANKEN und KAPS 1957. er direkte Weg zur Ermittlung dieser Schutzwirkung, nämlich die urchlaufende Messung des Windweges z.B. während der Vegetationseriode konnte nicht begangen werden, da die Instrumente nicht unbeaufsichtigt bleiben durften. Um trotzdem eine annähernde Vortellung zu erhalten, wurde mit Hilfe der Daten des Wetteramtes übingen und durch Vergleichsmessungen auf dem Versuchsfeld Weilheim eine Analyse der Windstärken und Windrichtungen vorgenommen. ie Wetterstation liegt 2 km nördöstlich vom Versuchsfeld auf dem chloßberg (vgl. Abb. 3), Anemometer und Windrichtungsanzeiger ind dort 25 m über dem Boden auf dem Dachfirst angebracht.

Außer durch den Höhenunterschied von 7o m wird der Vergleic
Weilheim - Wetterstation durch den dem Versuchsfeld im Nordwes
vorgelagerten Spitzberg beeinträchtigt. Er bremst nicht nur di
Winde aus West bis Nord, sondern er lenkt die Winde auch paral
zum Hang ab. VON EIMERN 1955b konnte bei Untersuchungen im
Elbetal bei Hamburg feststellen, daß die 4o bis 6o m hohen Ran
berge die Windrichtung bis auf 2 km Entfernung bis 24° (also z
WSW wird W)ändern. Auch SCULTETUS 1959b konnte bei Untersuchun
in der Reichswaldsiedlung südlich Kleve ähnliche Einflüsse nac
weisen.

Zur Analyse wurden die Daten der 3 mal täglichen Beobachtun
der Wetterstation verwendet. Die Frage, ob diese Beobachtungen
die mittleren Windverhältnisse des Tages repräsentativ sind, k
die aus vielen Tagen gebildeten Mittel positiv beantwortet wer
(ASSMANN 191o und PLEISS 1951). Die Berechnungen wurden vom 18
August 1958 bis zum 13. September 1959 durchgeführt. Unterteil
wird dieser Zeitraum nach den Terminen der Bodenfeuchtemessung
durchschnittlich dreiwöchige Perioden.

Analyse der Windstärken.

Einen Überblick der Windstärken während des Untersuchungsze
raumes zeigen die Periodenmittelwerte der Abb. 3o. Da für die
Verdunstung und damit für die Pflanzen vor allem die Windverhä
nisse während der Mittagszeit maßgebend sind, werden neben den
Tagesmittel auch die mittäglichen Werte wiedergegeben. Die Kur
zeigen, daß sie auch noch im dreiwöchigen Durchschnitt bis übe
1oo % schwanken. Der prozentuale Anteil der Windstille ist im
Winter groß, im Sommer klein. Als Anhaltspunkt für den Tagesga
seien die mittleren Werte der gesamten Untersuchungszeit wiede
geben (Windstärke in Beaufort):

morgens (7.Uhr)	mittags (14.Uhr)	abends (21.Uhr)	Tagesmi
1,o	2,o	1,1	1,4

Die großen Unterschiede machen deutlich, daß es bei Windsch
untersuchungen wertvoll ist, sich nicht auf Tagesmittel zu be-
schränken. In diesem Fall liegt die mittägliche Windstärke 48 %
über dem Tagesmittel. Da auf der Beaufort-Skala die m/sec.-Inte

mit zunehmender Windstärke größer werden, ergibt sich für die mittägliche Windgeschwindigkeit sogar 55 %. Die Amplitude des Tagesganges ist in der Regel bei Ostwinden (heiteres Wetter) größer, so daß die mittägliche Stärke dieser häufig trockenen Winde die Tagesmittelwerte besonders stark übertrifft.

Um die Angaben der Wetterstation besser zur Aussage über das Versuchsfeld heranzuziehen, wurde im Juni und Juli 18 Tage lang der Windweg (also hier nicht die 3 mal täglichen Beobachtungen) des Anemometers der Wetterstation mit dem eines 2 m über dem Boden des Versuchsfeldes aufgestellten verglichen. Der Windweg wurde um 8 Uhr und um 2o Uhr abgelesen, verwertet wurden nur die Tageswerte. Die prozentuale Windstärke auf dem Versuchsfeld schwankte zwischen 35 % und 88 % (Wetterstation = 1oo). Die Aufschlüsselung nach Windrichtungen zeigt den Einfluß des Spitzberghöhenzuges und gibt zugleich einen Hinweis, in welchem Maße dieser allgemein als Windhindernis für das Versuchsfeld wirksam ist:

	vom Spitzberg beeinflußt			nicht beeinflußt	
Windrichtung:	W	NW	N	SW	NE
Windstärke (%):	58	53 54	5o	7o 67	56
Meßtage:	6	4	3	3	2

6 Messungen fanden unmittelbar vor dem ersten Schnitt statt, die übrigen kurz danach. Die dadurch hervorgerufene Veränderung der Höhe des Anemometers über dem Bestand hat - im Mittel dieser wenigen Messungen - keinen feststellbaren Einfluß auf die prozentualen Windstärkenwerte. Eine Aufschlüsselung nach Großwetterlagen brachte keine einheitlichen Ergebnisse. Allgemein gilt, daß die Windzunahme mit der Höhe bei kleinem Temperaturgradient, also bei stabiler Luftschichtung, größer ist (STEINHAUSER 1935). Im Mittel der 18 Meßtage betrug die Windstärke in 2 m Höhe über dem Versuchsfeld 58 % der der Wetterstation. Bei durchschnittlichen Windstärken von 1,4 Bft. = 1,5 m/sec (Tag) und 2,o Bft. = 2,8 m/sec (Mittag) der Station ergeben sich daraus o,9 m/sec als Tagesmittel und 1,6 m/sec als Mittagsmittel für Weilheim.

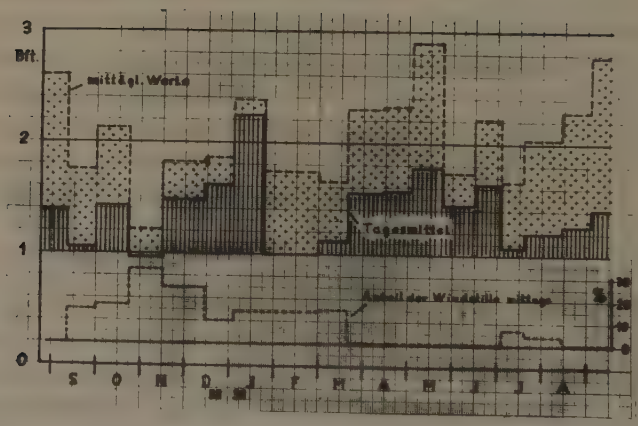


Abb. 30 Zur Analyse der Windstärken.
Die Mittelwerte der etwa drei-
wöchigen Perioden.

Eine weitere Untersuchung gilt der Windgeschwindigkeitsabnahme wischen 2 m Höhe und dem Bestand. Dazu wurde die Windgeschwindigeit bei einer Bestandshöhe von 15 cm gleichzeitig in 12, 2o, 35 nd 2oo cm Höhe gemessen. Eine Auswahl der insgesamt 3o Meßreihen eigt Abb. 31. Die Abhängigkeit der Abschwächung von der Windgechwindigkeit geht deutlicher aus der Abb. 32 hervor. Die Abchwächung steigt mit zunehmender Windgeschwindigkeit, und zwar im estand (12 cm Höhe) kaum merklich, an der Bestandsoberfläche 2o cm Höhe) geringfügig, 15 cm über dem Bestand (35 cm Höhe) berächtlich. Die durchschnittliche Windstärke an der Bestandsoberläche beträgt 4o - 5o % der in 2oo cm Höhe. Auch Meßreihen Ende ai bei einer Bestandshöhe von 5o cm ergaben für diese Höhe Werte on 4o - 5o %.

Die die Pflanzen treffenden Winde haben also im Durchschnitt nur eine geringe Geschwindigkeit, nach diesen orientierenden Messungen und Rechnungen für das Versuchsfeld Weilheim im Tagesmittel etwa o,4 m/sec., im mittäglichen Mittel etwa o,8 m/sec.

Über die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe beichtet ausführlich HELLMANN 1914, 1917 und 1919 in seinen klasischen Arbeiten über die Bewegung der Luft in den untersten chichten der Atmosphäre; er fand unter anderem die hier geschilerte größere Abschwächung mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Zu em selben Ergebnis kommt PAESCHKE 1937, der außerdem den Einfluß on rauhen und glatten Oberflächen näher bestimmte. Neue Messungen on TRAPPENBERG 1959 ergeben, daß die Geschwindigkeitszunahme mit er Höhe selbst im Monatsmittel noch starke Schwankungen aufweist. ie wird insbesondere vom Temperaturgradienten beeinflußt. Über essungen des vertikalen Bremseffektes im Windschutz berichtet ARTZ 95o; er fand bei schwachem Wind eine stärkere Bremsung. Es fehlt ber die Angabe, in welcher Entfernung vom Zaun gemessen wurde.

nalyse der Windrichtungen.

Es wurde für zweckmäßig angesehen, nicht nur die Häufigkeit der indrichtungen, sondern auch die der Windsummen (Summe der Windtärken) einer Analyse zu unterziehen. Die Angabe der Windstärke ach der Beaufort-Skala, deren m/sec.-Intervalle mit zunehmender indstärke größer werden, ist u.U. für ökologische Untersuchungen

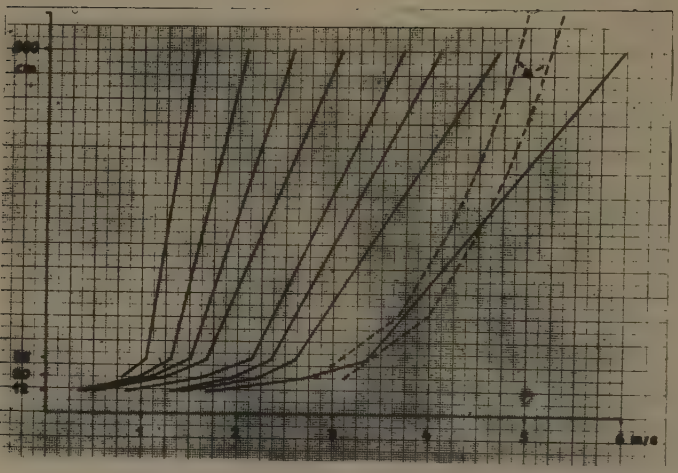


Abb. 31 Ausgewählte Meßreihen der Windgeschwindigkeit in Bodennähe. Bestandshöhe 15 cm.
N = zwei Messungen von NÄGELI 1946 über kurzem Rasen.

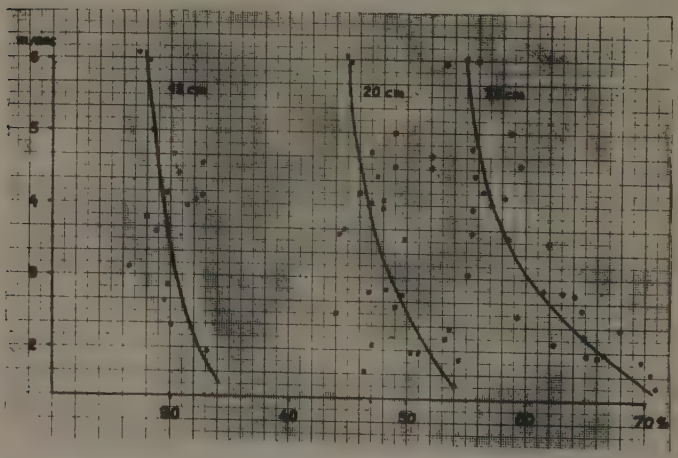


Abb. 32 Die Windabschwächung in Bodennähe in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe.
Ordinate: Windgeschwindigkeit in 2 m.
Abzisse: Prozentuale Geschwindigkeit (2 m = 1oo %)

vorteilhafter als die Geschwindigkeitsangabe in m/sec., denn die Pflanzen reagieren in niedrigeren Geschwindigkeitsbereichen stärker auf eine Änderung als in höheren. Für jede Periode des Untersuchungszeitraumes wurde die Windsumme getrennt für die morgendliche, mittägliche und abendliche Beobachtung auf die Himmelsrichtungen aufgeschlüsselt. Die daraus errechneten Tages- und Mittagswindsummen der gesamten Untersuchungszeit werden in Abb. 33 dargestellt. Es ergibt sich hier noch deutlicher als bei den windstärken, daß es vorteilhaft ist, die Verhältnisse um die Mittagszeit gesondert zu berücksichtigen. Die Tageswindsumme hat einen ausgeprägten Schwerpunkt in den westlichen Richtungen; die Kurve der mittäglichen Windsumme zeigt einen weit ausgeglicheneren Verlauf. Der prozentuale Anteil der Mittagssumme an der Tagessumme nimmt von SW über N nach SE fast kontinuierlich zu; aus SE wehten ungefähr 3/4 aller Winde zur Mittagszeit. Verursacht wird diese Erscheinung u.a. durch die Abhängigkeit der Windrichtung vom Tagesgang der Sonne (Konvektionsgang der Windrichtung, vgl. HANN - SÜHRING 1939).

In welchem Maße sich der prozentuale Anteil der Himmelsrichtungen ändert, wenn statt der Häufigkeit der Windrichtungen die Windsummen und besonders die mittäglichen Windsummen verrechnet werden, ergibt die Tab. 9

Tabelle 9.

Der prozentuale Anteil der Windrichtungen.

	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S
langjährige Häufigkeit der Windrichtungen	17	36	7	7	13	13	2	4
		60				28		
Tageswind-summen	22	24	10	6	18	11	7	1
		56				36		
Mittagswind-summen	17	26	9	7	17	14	9	1
		52				40		

Das wesentliche Ergebnis ist, daß sich die Differenz zwischen westl chen und östlichen winden von 32 auf 12 % verringert. Für die Wind·

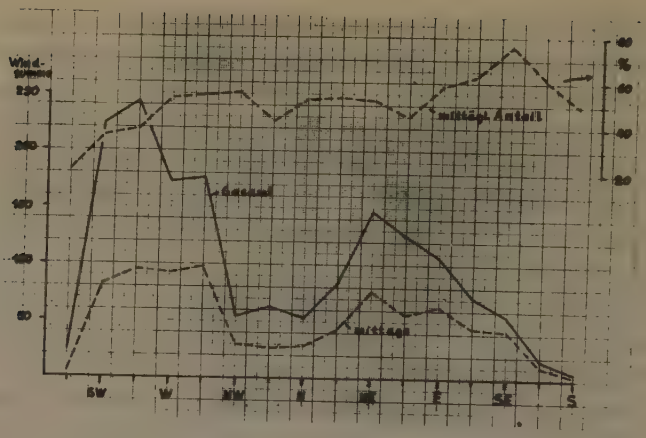


Abb. 33 Tages- und Mittagswindsummen der Untersuchungszeit (18.8.58. - 13.9.59) nach den Beobachtungen der Wetterstation Tübingen.

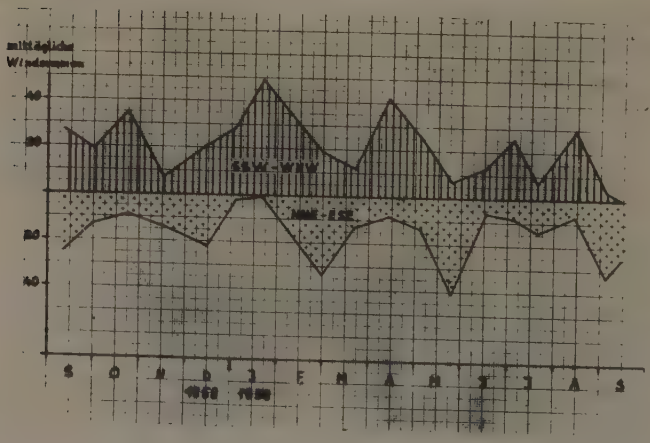


Abb. 34 Mittagswindsummen der annähernd senkrecht auf den Zaun treffenden Winde. Werte der etwa dreiwöchigen Perioden.

schutzfrage bedeutet dies, daß die Ostwinde mehr in Rechnung gestellt werden müssen, als es nach der von den Wetterämtern beobachteten Windrichtungshäufigkeit möglich ist.

Die Mittagswindsummen werden auch verwendet, um die Windverteilung der einzelnen Perioden zu ermitteln. Da sie nach der 16teiligen Windrose aufgeschlüsselt vorliegen, konnten diejenigen Richtungen gesondert bestimmt werden, aus denen die Winde annähernd senkrecht auf den Zaun treffen. Die so errechneten Windsummen der westlichen und östlichen Richtung werden in Abb. 34 einander gegenübergestellt. Ihr Verhältnis zueinander schwankt von Periode zu Periode außerordentlich. Im Hinblick auf die Ökologie ist wichtig, daß im Winter, wo der Windschutz für die Kulturen von nur geringer Bedeutung ist, Westwinde vorherrschten, im Mai dagegen, also zur Hauptwachstumszeit, Ostwinde. Noch extremer waren die Verhältnisse im Spätsommer. Ab Ende August wehten bis in den Oktober hinein praktisch nur Ostwinde. Sie führten zusammen mit dem geringen Niederschlag und der hohen Temperatur zu großen Trockenschäden.

Die Schutzwirkung für die einzelnen Parzellen.

Die flächenhafte Schutzwirkung ist außer von Windrichtung und Stärke von dem Seitenverhältnis des Hindernisses (Länge : Höhe) abhängig. Die Schutzwirkung nimmt mit kleiner werdendem Verhältnis erst langsam, dann schneller ab. Beim Zaun in Weilheim beträgt das Seitenverhältnis 50 : 2 = 25. Da in der Praxis die Schutzstreifen wesentlich länger sein werden, kommt dieser Berechnung neben dem speziellen Ergebnis für die Untersuchungszeit und das Versuchsfeld in erster Linie methodischer Wert zu. Es wird deshalb nur eine Berechnung für die gesamte Untersuchungszeit durchgeführt.

Hierbei müssen folgende bisher nicht genannte Faktoren beachtet werden: Trifft der Wind schräge auf den Zaun, so ändert sich die Windverteilung in dem Sinne, daß das Windminimum näher am Zaun liegt, ausgeprägter ist und die Windkurve schneller zum Freilandwert hin ansteigt - also in gleicher Weise, als ob das Hindernis dichter, die Windgeschwindigkeit geringer oder die Turbulenz größer würde.

Die Parzellen in Zaunnähe erhalten dadurch stärkeren Schutz, in Zaunferne schwächeren. Lokale Wirbelbildungen und Rückströmungen gestalten die Verhältnisse noch komplizierter, auch kann der Wind schon in Luv durch den Zaun abgelenkt werden.

Nicht eindeutig geklärt ist bisher, wie die seitlichen Grenzen des Schutzbereiches verlaufen. Nach den Untersuchungen von KREUTZ und WALTER 1958 im Windkanal reicht der Schutzbereich nicht über die durch Windrichtung und Ende des Hindernisses bestimmte Gerade hinaus, und schon in einer breiten Randzone ist die Abschwächung des Windes geringer als entlang der Mittellinie des Schutzbereiches. NÄGELI 1953 fand dagegen hinter einer Schilfrohrwand im Freien, daß die Zone intensivster Windabschwächung bis an die oben angegebene Gerade reicht und noch außerhalb dieser Geraden eine mit der Entfernung vom Zaun breiter werdende Schutzzone vorhanden ist.

Bei dieser Überschlagsrechnung wurden diese Faktoren nicht berücksichtigt. Es wurde vielmehr für jede Parzelle, soweit sie bei der betreffenden Windrichtung in dem in der Abb. 35 gekennzeichneten Schutzbereich liegt, der Wert eingesetzt, der sich aus der Windverteilungskurve bei senkrechter Anblasung ergibt. Dabei kommen gemäß den errechneten mittleren Tages- und Mittagswindgeschwindigkeiten nur die Werte des Geschwindigkeitsbereiches I (1 - 2 m/sec. im Freiland) in Frage.

In der Tab. 10 wird für einen Ausschnitt der Windrose gezeigt, welche prozentuale Windabschwächung die einzelnen Säulen bei den verschiedenen Windrichtungen erfahren. Außerdem geht aus ihr die theoretische mittlere Windabschwächung bei gleichen Windsummen aus allen Richtungen hervor.

Den weiteren Rechengang macht Tab. 11 deutlich. Für jede Windrichtung wird die Windsumme des Untersuchungszeitraumes mit dem Prozentsatz der Windabschwächung der Säulen multipliziert. Die so erhaltenen Werte sind in der Tabelle für einen Ausschnitt der Windrose wiedergegeben. Für jede Säule ergibt die Summe der Abschwächung aller Windrichtungen die effektive Schutzwirkung. Setzt man sie in Beziehung zur Freilandwindsumme aller Richtungen, so erhält man die effektive prozentuale Abschwächung.

T a b e l l e 1o.

Windabschwächung in % der Freilandgeschwindigkeit für einen Ausschnitt der Windrose und mittlere Abschwächung für die gesamte Windrose.

ulen m)	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Mittlere Abschw.
) - 46	-	-	-	-	-	-	-	o,2
5 - 3	11	11	11	11	11	-	21	21,2
5 - 6	41	41	41	41	41	-	6	21,2
1 - 14	5o	5o	5o	5o	-	-	-	15,5
7 - 4o	4	7	7	-	-	-	-	1,1
) - 53	-	-	-	-	-	-	-	o

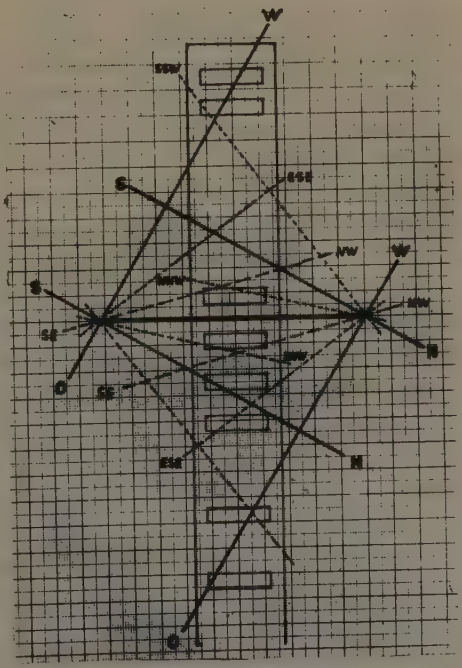


Abb. 35 Skizze zur Berechnung des Windschutzes für die Ertragsflächen in Weilheim.

Tabelle 11

Die Windabschwächung während des Untersuchungszeitraumes für die Himmelsrichtungen (hier Ausschnitt) und Säulen.

	SSW	SW	WSW	Summe d.ges.W Windsumme
Mittägl. Windsummen vom 18.8.58 - 13.9.59.	5	82	96	799
Säulen (m)	Windabschw.in Windsu.			
49 - 46	-	-	-	2
6 - 3	o,6	9,o	1o,6	176
3 - 6	2,1	33,7	39,4	192
11 - 14	2,5	41,o	48,o	151
19 - 22	1,8	28,7	33,6	81
37 - 4o	o,2	5,7	6,7	13
5o - 53	-	-	-	-
Summe	71	118	138	615
Prozent d.Ges.abschw.	1	19	23	1oo

Diese ist in Abb. 36 graphisch dargestellt. Das überraschende Ergebnis ist, daß sie nur wenig vom Verlauf der Kurve bei gleichen Windsummen aus allen Richtungen abweicht. Der Einfluß der unterschiedlichen hohen Windsummen der einzelnen Richtungen ist also verhältnismäßig gering. Die Schutzwirkung ist bis 12 m Lee mit 2o % Abschwächung am stärksten, sie beträgt bis 2o m noch 1o %, 4o m nur noch 2 %. Nimmt man die ökologisch relevante Schutzwirkung ab 1o %iger Abschwächung an, so reicht diese nur bis 1o H. Die Parzellen bei 2o H erhalten praktisch keinen Windschutz mehr.

Diese Kurve - und nicht die bei senkrechter Anblasung - gibt die grundlegenden Werte für alle Vergleiche mit den ökologischen Faktoren, soweit man nicht Augenblicksbedingungen, sondern die längerer Zeiträume erfassen will. Sie ist allein maßgebend für die Beurteilung der Ertragsverhältnisse im Windschutzbereich.

Aus dieser Analyse ergibt sich ferner eine Folgerung für die Anordnung der Versuchsparzellen und damit für die Anlage der Windhindernisse. Drückt man die effektive Abschwächung jeder Windrichtung in % der Gesamtabschwächung aus (untere Spalte der Tab. 11

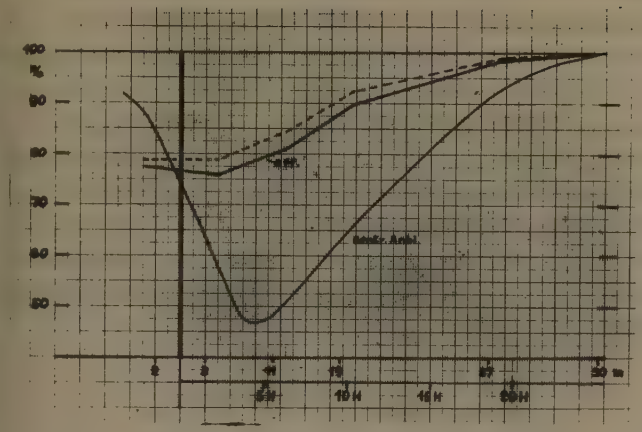


Abb. 36 Kurven der prozentualen Windgeschwindigkeit: bei senkrechter Anblasung, während eines längeren Zeitraumes (effektive Abschwächung) und bei gleichen Windsummen aus allen Richtungen (gestrichelt).

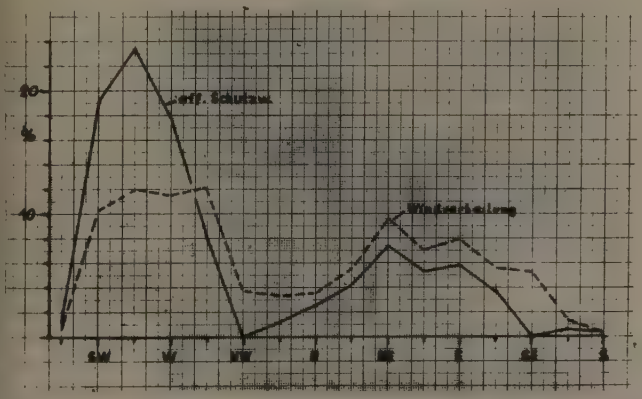


Abb. 37 Effektive Abschwächung der Windrichtungen und die Windverteilung während des Untersuchungszeitraumes.

so kann man sie mit dem prozentualen Anteil der Windsummen i
Freiland vergleichen (Abb. 37). So betrug z.B. bei den WSW-
Winden der Anteil der Windsumme 12 %, der Anteil der Abschwä
23 %. Der Anteil der Abschwächung der östlichen Winde dagege
entspricht nicht ihrer Summe im Freiland.

Die potentielle Schutzwirkung des Zaunes wird dann am besten ausgenützt, wenn die Kurve der effektiven Windabschwächung der zu schützenden Parzellen mit der Kurve der Windsummenverteilung zusammenfällt.

Im hier untersuchten Beispiel Weilheim waren östlich des Zaun
zu viel, westlich zu wenig Parzellen, um die potentielle Schu
wirkung ganz auszunutzen.

DIE SCHNEEVERWEHUNGEN

n Im Winter 1958/59 wurden auf den Versuchsfeldern Schnee-
ssungen vorgenommen. Sie stellen keine systematischen Unter-
chungen dar, können aber als Anhaltspunkt für die in diesem
tersuchungsgebiet zu erwartenden Schneeverwehungen bei Wind-
hutzanlagen dienen. Die Messungen erfolgten senkrecht zum Zaun
1 Abstand von 1 m, parallel zum Zaun alle 3 m. Es werden zunächst
Profile aus dem Neckartal wiedergegeben (Abb. 38). Sie wurden
vischen dem 10. und 17. Januar gemessen und stellen eine kon-
nuierliche Wachstumsreihe dar.

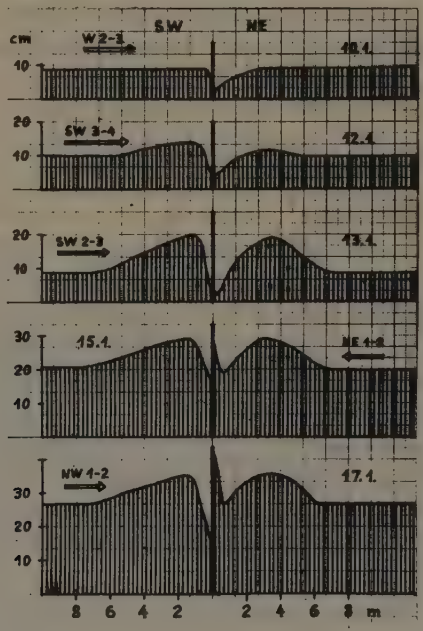


Abb. 38 Schneeprofile aus dem Neckartal (Weilheim).

Am 1o. Januar ist lediglich eine schmale schneearme Zone in Lee festzustellen. Am 12. ist auffällig, daß die Luvwehe größer ist als die Leewehe. Der auffrischende Wind fegt den Schnee, so daß die Wehe am 13. erheblich gewachsen ist. Ihre Form ähnelt bereit der "gesättigten" Wehe NØKKENTVEDS,dem Endstadium, das keine Ver änderungen mehr erfährt. Durch den ENE-Wind am 15. werden Luv- und Leeseite vertauscht. Die schneearme Zone am Zaun wird weitgehend aufgefüllt, und an der Luvseite des Zaunes entsteht eine hohe, dünne Schneewand. Letztere ist am 17. trotz erneuten Schne falls und Westwinden noch stärker ausgeprägt. Im großen und ganzen schließen sich diese Ergebnisse früheren Untersuchungen an (NÄGELI 1953, KREUTZ 1954b, KAISER 196o). Eine Besonderheit ist die stärkere Ausprägung der Luvwehe zu Beginn der Wehenbildung sowie die eigenartige dünne Schneewand am Zaun.

Waren im Neckartal bei den Messungen parallel zum Zaun nur geringfügige und uneinheitliche Schwankungen festzustellen, so ergaben die Messungen auf dem Schömberg ein anderes Bild. Sie werden deshalb außer in Profilen in Diagrammen gleicher Schneehöhe wiedergegeben (Abb. 39 und 4o). Beide Abbildungen zeigen auffällige Schneewellen, die wahrscheinlich senkrecht zur Windrichtung verlaufen. Während sie jedoch am 1o.1. beiderseits des Zaunes ausgebildet sind, zeigt die Luvseite am 6.1. eine mehr halbkreisförmige Struktur. Über die Ursachen können nur Vermutungen geäußert werden. Der Zaun schloß z.B. nicht überall an den Boden an, und vielleicht wirkten sich die Lücken als Düsen aus.

Einen Hinweis auf die Intensitätsgrenzen des Schutzbereiches geben die Kartierungen der Rückzugsstadien bei der Schneeschmelze (Abb. 41 - 44). Allerdings fallen hier zwei Erscheinungen zusammen: die größere Schneeansammlung in Zaunnähe und die Verzögerung der Schneeschmelze durch die Schwächung des Windes. Insgesamt dauerte die Periode der Schneeschmelze im Windschutz nur wenig länger. Im Neckartal schmolz die 27 cm hohe Schneedecke im Freiland in 5 Tagen, im Windschutz in 8 Tagen.

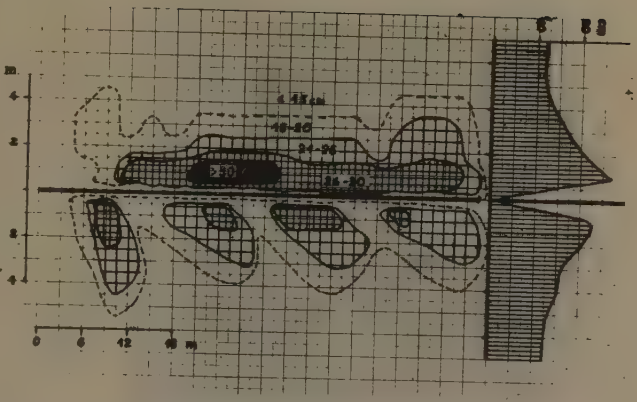


Abb. 39 Schömberg 6.1.59. Diagramm gleicher Schneehöhen und Schneeprofil.

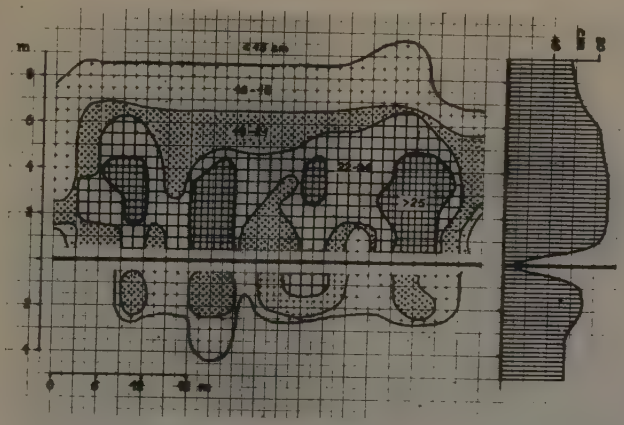


Abb. 4o Schömberg 1o.1.59. Diagramm gleicher Schneehöhen und Schneeprofil.

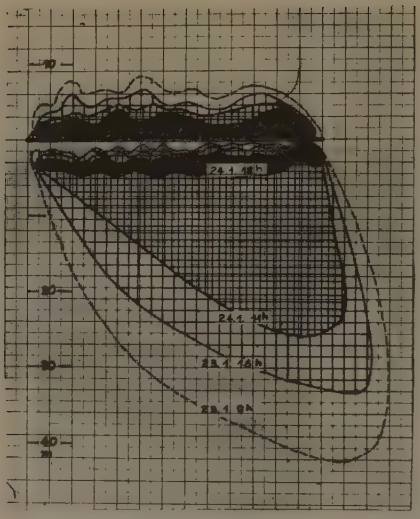


Abb. 41 Rückzugsstadien bei der Schneeschmelze in Kirchentellinsfurt.

Abb. 42 Das Schneefeld in Kirchentellinsfurt am 24.1. 11 Uhr.

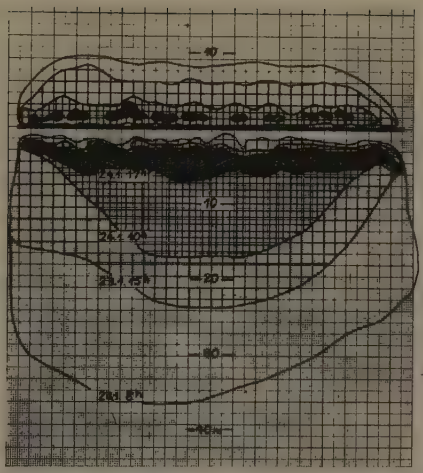


Abb. 43 Rückzugsstadien bei der Schneeschmelze in Weilheim.

Abb. 44 Das Schneefeld in Weilheim am 24.1. 1o Uhr.

DIE NIEDERSCHLÄGE

Zur Messung der Niederschläge standen zuerst 3, später 5 HELLMANNsche Regenmesser (Auffangfläche 2oo cm^2) zur Verfügung. Sie wurden auf dem Freiland der drei Versuchsflächen und bei 6 m Lee auf den Flächen Weilheim und Kirchentellinsfurt aufgestellt; die Auffanghöhe betrug 8o cm. Die Meßzeit begann im Freiland überall am 1. April 1958, im Windschutz in Kirchentellinsfurt im Juli, in Weilheim im Oktober 1958 und dauerte überall bis zum 13. September 1959. Die Ablesungen erfolgten etwa alle drei Wochen zusammen mit der Probenentnahme zur Bestimmung der Bodenfeuchte. Als Verdunstungsschutz wurden nach jeder Messung einige Tropfen Öl in den Behälter getan. Die Untersuchungen auf dem Schömberg konnten nur mangelhaft durchgeführt werden, denn im schneereichen Winter 1958/59 genügte eine dreiwöchige Ablesung nicht, und im Sommer 1959 wurde der Regenmesser mehrmals beschädigt.

Die Ergebnisse können in zweifacher Hinsicht ausgewertet werden: einmal zum Vergleich mit den Messungen der benachbarten meteorologischen Stationen, zum anderen zur Bestimmung des Einflusses der Windschutzzäune.

Der Vergleich der Versuchsflächen im Neckartal mit der Station Tübingen ergibt:

a) Während der gesamten Meßzeit.

Tübingen	: 1 o18 mm	
Weilheim	: 1 oo2 mm,	d.h. 16 mm oder 1,6 % weniger
Kirchentellinsfurt	: 992 mm,	d.h. 26 mm oder 2,5 % weniger

b) Während der Vegetationsperioden und im Winter.

	Tübingen	Weilheim	Kirchentellinsfu
Veg.-per.1958 (1.4.-3o.9.)	445 mm	443 = - 2 mm	43o = - 15 mm
Veg.-per.1959 (22.3.-13.9.)	334 mm	331 = - 3 mm	329 = - 5 mm
Winter 1958/59 (3o.9.-22.3.)	239 mm	228 = - 11 mm	233 = - 6 mm

Für den Schömberg ist nur für die Vegetationsperiode 1958 ein Vergleich möglich :

	Genkingen	Schömberg
1.4. - 3o.9.	492 mm	494 = + 2 mm

Die Abweichungen gegenüber den meteorologischen Stationen sind in den verhältnismäßig langen Zeiträumen gering. Bei den dreiwöchigen Einzelmessungen sind sie wesentlich größer, sie betragen durchschnittlich in Weilheim 8 %, in Kirchentellinsfurt 16 %. Diese Zahlen geben gleichzeitig einen Anhaltspunkt dafür, wieweit die Darstellung der Witterung für die Jahre 1958 und 1959, wie bei der Beurteilung der Ertragsverhältnisse geschehen, an Hand der Werte der meteorologischen Stationen erfolgen kann. Das Verfahren wird umso fraglicher, je kürzer die zu vergleichenden Zeiträume sind; die Mittelwerte der Monate dürften die untere Grenze darstellen.

Der Einfluß des Schutzzaunes ist nur gering. Der Meßpunkt im Windschutz wies gegenüber dem Freiland auf :

Weilheim.	6 Fälle	Erhöhung mit zus.	5,7 mm
	2 "	Verminderung mit zus.	o,6 mm
	2 "	keine Veränderung	
	1o Messungen	mit	+ 5,1 mm = 1,8 %
K'furt.	1o Fälle	Erhöhung mit zus.	5,7 mm
	5 "	Verminderung mit zus.	2,5 mm
	1 Fall	keine Veränderung	
	16 Messungen	mit	+ 3,2 mm = o,5 %

Die Niederschlagserhöhung im Windschutz hielt sich also in sehr engen Grenzen. Eine deutliche Erhöhung tritt überhaupt nur dann ein, wenn die Niederschläge bei stärkerem und senkrecht auf den Zaun gerichtetem Wind fallen. Das war z.B. Anfang Mai 1959 der Fall; in Weilheim ergab die Messung damals eine Erhöhung von 9 %. In der Regel sind die Niederschläge bei starkem Wind aber nur wenig ergiebig, bei dreiwöchiger Meßperiode überwiegen die bei stillem Wetter fallenden. So wiesen von allen 26 Messungen nur 3 eine Erhöhung von mehr als 3 % auf. Meßtechnisch kommt hinzu, daß die Regenmesser im Winde sowieso weniger Niederschlag auffangen.

Die Verteilung des Niederschlags in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zaun konnte nicht ermittelt werden. Nach den Untersuchungen von TH. MÜLLER 1956 hinter Hecken liegt das Maximum in

einer Entfernung von etwa 3 H. Dementsprechend wurde der Regenmesser 6 m hinter dem Zaun aufgestellt. Es gibt aber auch andere Ergebnisse, so z.B. von KREUTZ 1952a, der hinter Mais eine bis 4 H reichende Regenschattenzone fand.

Die praktische Bedeutung der Niederschlagserhöhung durch den Windschutz wurde bisher oft zu hoch eingeschätzt. Sie tritt hinter den unterschiedlichen Verdunstungsverlusten größenmäßig völlig zurück. Außerdem geht die geringfügige Erhöhung im Leegebiet (und nach einigen Untersuchungen auch im Luvgebiet) auf Kosten der Zone in unmittelbarer Hindernisnähe, wo die größere Windgeschwindigkeit den Regen mitreißt. Am sichtbarsten wird die Erhöhung noch, wenn die Versuchsfläche allseits von Windhindernissen umgeben ist (Schloßpark in Schwetzingen, KREUTZ 1953); BRASSE 1954 fand aber auch unter solchen Bedingungen nur eine bescheidene Zunahme. Zur weiteren Erforschung müssen in jedem Einzelfall Richtung und Stärke des Windes mit Art und Höhe des Niederschlages in Verbindung gebracht und statistisch ausgewertet werden.

D E R T A U

Methodik.

Die Taumessungen wurden mit Leick'schen Tauplatten durchgeführt. Dies sind kreisrunde, aus stark porösem Biskuitporzellan bestehende Scheiben. Sie sind 5 mm stark und haben einen Durchmesser von 113 mm, so daß sich eine obere und untere Auffangfläche von je 1oo cm^2 ergibt. Die physikalischen Eigenschaften der Platte wurden von GELBKE 1955 untersucht. Die maximale Wasseraufnahme beträgt 39 Vol. % entsprechend 19,5g Wasser oder 2 mm Niederschlag. Da auch in guten Taunächten selten mehr als o,4 mm Tau fällt, ist also das Aufnahmevermögen mehr als ausreichend. Wegen weiterer Angaben, z.B. über die Austrocknungsgeschwindigkeit, die Hygroskopizität sowie thermischer und elektrischer Art sei auf die ausführliche Originalarbeit verwiesen.

Die Messungen wurden im Sommer 1958 und 1959 in insgesamt 34 Nächten sowohl bei hohem Bestand als auch über kurzem Rasen durchgeführt. Die Platten wurden - ohne Kassette - auf an Stöcken befestigte Drahtbügel gelegt. Sie befanden sich in der Regel in de

he der Bestandsoberfläche oder kurz darüber (Vgl. Tab. 12).
ch Angaben in der Literatur weisen die mit Leick'schen Plat-
n ermittelten Tauwerte auch auf verhältnismäßig homogenem
andort große Streuungen auf. So schwanken z.B. die von
EUBING 1952 über einem Stoppelfeld gemessenen Werte zwischen
24g/dm^2 und o,74 g/dm^2; GELBKE 1952 fand Streuungen bis 3o %.
gene Versuche legen die Vermutung nahe, daß solch große
reubreiten nicht in erster Linie, wie vielfach vermutet, durch
andörtliche Unterschiede, sondern durch methodische Fehler
tstehen, vielleicht z.B. durch Aufeinanderlegen der Platten
im Einsammeln oder durch nicht luftdichten Abschluß während
s Transports. Die Kontrollmessungen 1o cm über dem kurzen
sen der Versuchswiese ergaben für die zur Verfügung stehenden
5 Platten nur geringe Abweichungen (in g/dm^2) :

	höchster Wert	mittlerer Wert	niedrigster Wert	durchschnittl. Abweichung
2/13. Okt.1958	3,o3	2,96	2,88	o,o3
3/14. "	2,89	2,8o	2,7o	o,o3
4/15. "	3,24	3,16	3,o7	o,o5

Th. MÜLLER 1956 hatte die Tauplatten senkrecht aufgestellt,
n die Auswirkungen der Windminderung besser erfassen zu können.
ie aufgefangene Taumenge wird dadurch aber erheblich reduziert,
ach LEHMANN und SCHANDERL 1942 auf 5o - 24 %, nach FRITSCHE 1934
ogar bis auf 12 %. Das ist vor allem in den taureichen Aus-
trahlungsnächten der Fall, denn durch das Senkrechtstellen wird
er für die Ausstrahlung maßgebende Raumwinkel verringert.
igene Vergleichsmessungen in zwei Nächten mit schwachem Wind
rgaben eine Reduzierung auf 6o %. In nebeligen Nächten besteht
ußerdem die Gefahr, daß die senkrechten Platten statt des Taues
n erster Linie den durch die Luftströmung horizontal verscho-
enen Nebel auffangen. Die vorliegenden Messungen wurden deshalb
it wagerechten Platten durchgeführt.

Vielfach werden die Tauplatten in Kunststoffkassetten ausge-
egt, die nur den Taubeschlag von oben zulassen und dadurch den
influß der Pflanzentranspiration und der Bodenexhalation herab-
etzen; GELBKE 1952 konnte so auch die Steubreite verringern.

Die Kassette macht aber andererseits die physikalische Sit
komplizierter, und da es sich bei Windschutzversuchen haup
lich um Relativmessungen handelt, wird das Fehlen der Kass
kaum wesentliche Nachteile gebracht haben. Weitere methodi
Erläuterungen zur Taumessung geben LEICK 1952 u. 1953 und
GELBKE 1955.

Ergebnisse.

Für die Meßreihen wird zunächst eine Übersicht in Tab. 12 g
ben. Die Angaben über den Wind wurden beim morgendlichen Ei
gewonnen, sie tragen also nur orientierenden Charakter. Der
morgendliche Bewölkungsgrad wurde nicht notiert, da er noch
niger für die Verhältnisse der Nacht repräsentativ ist. Die
belle zeigt, daß im Schutzbereich durchweg mehr Tau als im
land fällt. Die Erhöhung bleibt jedoch, von wenigen Ausnahm
auf der Alb abgesehen, in recht mäßigen Grenzen. Die Haupt
der Tauverteilung werden durch die Abb. 45 - 48 wiedergegeb

Zunächst zur Abb. 45. Die aus den Mittelwerten der Meßre
13 bis 17 gewonnene Kurve ist repräsentativ für eine Verteil
die weitaus am häufigsten bei den Messungen im Neckartal auf
Sie wird deshalb hier als "N o r m a l k u r v e" bezeichn
In Luv steigt sie schon bei 15 m Entfernung vom Zaun etwas a
sinkt in Zaunnähe unter den Freilandwert, erreicht bei 6 -
Lee ihr Maximum und fällt dann langsam bis zum Freilandwert
etwa 25 m ab. Diese Verteilung ergibt sich nicht nur in schw
windigen Nächten (Bft.1), sondern auch in solchen, die gewöh
als windstill bezeichnet werden, bei denen sich aber z.B. du
Seifenblasen doch ein leiser Zug nachweisen läßt. Die Erniedr
gung in Zaunnähe erreicht wie die Erhöhung in Lee rund 1o %
Freilandwertes. Berücksichtigt man die Größe der Flächen, so
der Taugewinn 3 - 4 mal größer als der Tauverlust in Zaunnähe

Die übrigen Meßreihen der Abb. 45 und 46 stellen Variation
dieser Normalkurve dar. Die Meßreihe 18 hat insofern eine met
dische Sonderstellung, als die Platten hier 6o cm über dem ku
geschorenen Rasen aufgestellt waren. Insgesamt ist festzustel

1. Die Verringerung des Taufalls etwa 3 m beiderseits des
Zaunes tritt stets ein. Der Zaun wirkt als Ausstrahlungshinde
in geringem Maße wohl auch als Wärmespeicher. Die Verringerun

Tabelle 12

Die Taumeßreihen.

Datum	Ort	Bestands-Höhe cm	Platten-Höhe cm	Wind Bft.	Taufall Frld. g/dm²	zusätzl.i. Windsch. g/dm²	
8.7.58	K	3o	4o	C	1,3	o,2	
9. "	"	"	"	C	1,7	o,3	
1o. "	"	"	"	C	2,7	o,1	
27.8.	"	1o	2o	E 1	2,5	o,1	
29. "	"	"	"	E 1	2,1	o	
12.9.	"	15	"	C	3,7	o,1	
2.6.59	W	9o	9o	C	2,2	o,1	
4. "	"	"	"	C	2,3	o	
8.7.	Sch	8o	8o	SE 2	1,3	o,9	
13. "	W	5o	6o	E 1	1,4	o	
14. "	"	"	"	E 1	1,1	o,1	
15. "	"	"	"	W 1	2,1	o,2	
16.7.	K	5o	6o	C	3,2	o,2	
19. "	"	"	"	W 1	1,9	o,4	
2o. "	"	"	"	W 1	2,2	o,2	
13.8.	"	6o	"	NW 1	2,7	o,2	Abb.45
16. "	"	"	"	W 1	2,6	o,2	
18. "	"	5	6o	E 1	3,8	o,2	
23. "	"	1o	15	E 1	1,7	o,1	
29. "	"	15	25	C	2,o		
3o. "	"	"	"	C	2,6	nur Zaun-	Abb.47
31. "	"	"	"	C	2,4	nähe gem.	
6.9.	Sch	12	2o	NE 3	o,2	o,4	
9. "	"	"	"	NE 2	o	o,8	Abb.48
1o. "	"	"	"	E 2	o,2	1,5	
14.9.	W	15	2o	E 1	1,4	o,2	
15. "	"	"	"	E 1	o,8	o,2	Abb.46
2o. "	"	"	"	C	2,6	o,2	
21. "	"	"	"	C	2,5	o,4	
22. "	"	"	"	C	2,8	nur	
3o. "	"	2o	"	C	1,8	Zaun-	Abb.47
1.1o.	"	"	"	SE 1	3,1	o,2	nähe gem.
2. "	"	"	"	E 1	2,8	o,2	
3. "	"	"	"	E 1	2,6	o,1	

wird in Lee schneller kompensiert als in Luv, und die Kurve
eindellung wird dadurch unsymmetrisch.

2. Gegenüber dieser steten Erniedrigung kann die Erhöhun
in Lee und Luv so gering sein, daß für die Versuchsfläche i
samt ein geringerer Taugenuß resultiert.

3. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß Erhöhung und Er
gung nicht in einem bestimmten Prozentverhältnis zum Freila
stehen. Sie weisen bei hohem wie bei niedrigem Taufall auff
ähnliche absolute Werte auf. In tauschwachen Nächten nehmen
dadurch hohe Prozentwerte an.

4. Ein Einfluß der Bestandshöhe auf den Kurvenverlauf war
festzustellen - obgleich sich natürlich bei hohem Bestand di
wirksame Höhe des Schutzzaunes und damit seine Reichweite v
ringert.

Die Meßreihen der Abb. 47 geben die Verhältnisse in Zaunn
in guten Ausstrahlungsnächten wieder. Die Minderung des Tauf
ist hier besonders ausgeprägt, sie beträgt o,8 - 1,2 g/dm^2, d
die Taumenge sinkt selbst in mäßig guten Taunächten auf annä
5o %·der Freilandsumme.

In windigen Nächten erhalten die Taukurven ein ganz andere
Bild. Die Abb. 48 gibt derartige auf der Alb gewonnenen Meßre
wieder. Im Freiland fällt nur wenig oder gar kein Tau; im Wind
schutz dagegen können sich bedeutende Taumengen bilden, und d
Erniedrigung in Zaunnähe verliert an Bedeutung. So kann man d
Tauverteilung der Meßreihe 25 geradezu als "W i n d t y p "
Normalkurve des windstillen Neckartals gegenüberstellen. Es
offensichtlich eine k r i t i s c h e W i n d s t ä r k e :
stark genug, um eine Taubildung im Freiland zu verhindern, ab
noch nicht so stark, um auch im Windschutz die Kondensation z
unterbinden. Unter solchen Bedingungen erreicht die prozentua
Erhöhung extreme Werte; die Meßreihe 24 z.B. macht deutlich,
es - wie z.T. in der Windschutzliteratur anzutreffen - wenig
voll ist, die Tauerhöhungen ausschließlich in Freilandprozent
zugeben. Wann der Wind die kritische Stärke erreicht, ist natü
lich von anderen Klimaelementen abhängig, insbesondere von de
relativen Luftfeuchtigkeit und dem Bewölkungsgrad. In Zusamme
hang mit den Ergebnissen der nächtlichen Temperaturmessung ka
als Richtzahl Bft. 2 - 3 angenommen werden.

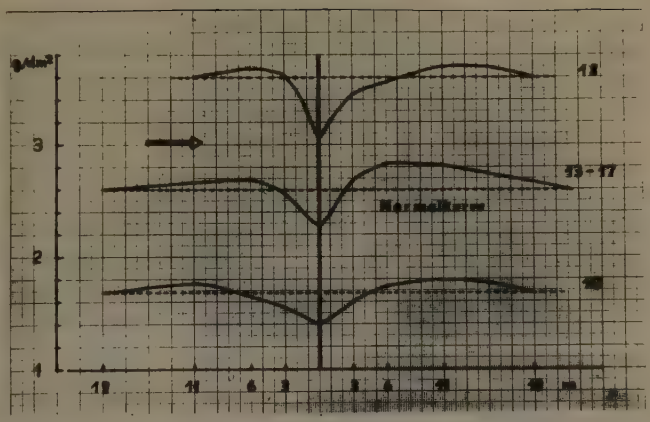


Abb. 45 Taumeßreihen im Neckartal.
Meßr. 18: methodischer Versuch, Tauplatten 60 cm über kurzem Rasen
Meßr. 13-17 (Mittelwerte): die häufigste Tauverteilung
Meßr. 19: Variante der Normalkurve.

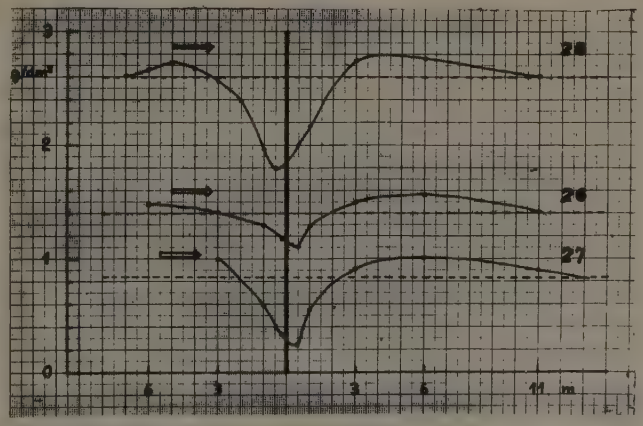


Abb. 46 Taumeßreihen im Neckartal. Varianten der Normalkurve, Meßreihe 28 mit starker, Meßreihe 26 schwacher Verminderung in Zaunnähe.

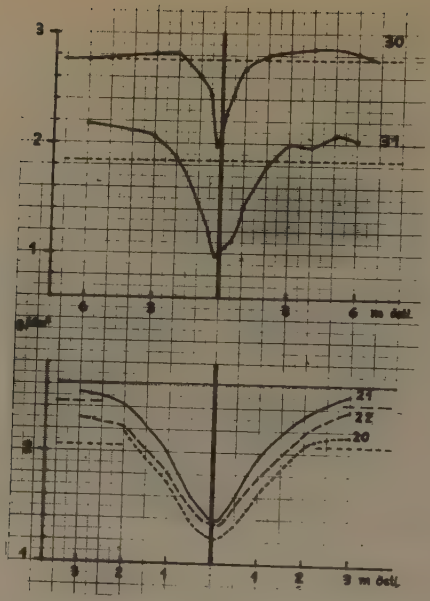


Abb. 47 Die Minderung des Taufalls in Zaunnähe in guten Ausstrahlungsnächten.

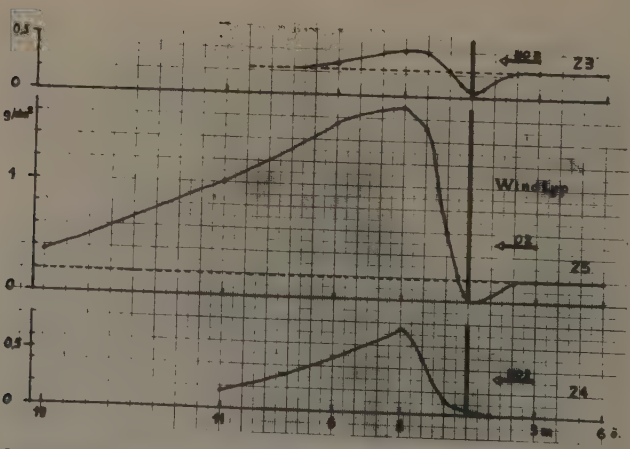


Abb. 48 Taumeßreihen auf dem Schömberg in windigen Nächten. Bei geringem Taufall wird die prozentuale Erhöhung im Windschutz extrem hoch.

Zur Beurteilung der standörtlichen Verhältnisse ergibt sich, aß die Bedeutung des Windschutzes für den Taufall im taureichen, ber nachts windstillen Neckartal minimal ist, auf der Alb mit ren häufigeren windigen Nächten dagegen wesentlich werden kann.

iskussion.

Die hier mitgeteilten Ergebnisse geben zwar einen Überblick er Beeinflussung des Taufalls durch den Windschutzzaun, gestatten jedoch keinerlei Kausalanalyse der dabei wirksamen Faktoren. Zur Lösung dieser Aufgabe sind registrierende Geräte für ind, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit notwendig, so daß nicht ur die Tausummen - oder besser das Ergebnis des Wechselspiels erdunstung-Taukondensation - sondern auch der T a u g a n g in einer Abhängigkeit von den meteorologischen Faktoren erkannt erden kann. Einer solchen Untersuchung kommt auch deswegen Beeutung zu, weil sich im Verlauf der Nacht die Zusammensetzung es Tauwassers aus der Transpiration der Pflanzen (Anteil abends roß), der Bodenverdunstung und der Luftfeuchtigkeit (Anteil orgens groß) ändert (LEHMANN und SCHANDERL 1942 und GELBKE 1955). as ökologische Gewicht der Tauerhöhung hängt aber davon ab, ob as "gewonnene" Tauwasser in der Hauptsache aus der Luft oder nur us dem ja zu schützenden Wasserhaushalt des Systems Boden/Pflanze tammt. Eine Vertiefung der Analyse muß sich dann darauf beziehen, aß alle drei Taubildungsanteile vom Wind auch direkt beeinflußt erden. Am meisten ist dies wahrscheinlich bei der Bodenverunstung der Fall. Die im Windschutz oftmals höhere Bodenfeuchte ird, besonders bei gleichzeitiger höherer Bodentemperatur, die odenverdunstung und damit auch deren Anteil an der Taukondenation erhöhen.

Die Ergebnisse stimmen mit denen anderer Autoren nur teilweise berein. Meistens liegt es daran, daß bei ihnen die Windschutzeßstelle zu nahe am Zaun lag und die Auswirkungen der Windabchwächung und der Ausstrahlungsbehinderung sich überdeckten. Als eispiel seien die Messungen von STEUBING 1952/53 auf Hiddensee enannt. Dort findet sich folgende Darstellung der Abhängigkeit es Taufalls im Windschutz von der Witterung :

1. Wind schwach, Bewölkung schwach: Taufall kleiner (Auss
behi
2. " schwach, " stark : kein Unterschied zum
3. " stark, " stark : Taufall größer
4. " stark, " schwach: Taufall noch größer.

Die eigenen Messungen führen dagegen für den Windschutzbereic
außerhalb der strahlungsbehinderten Zone zu einer anderen Ska

1. Absolute Luftruhe: kein Unterschied zum Freiland.
2. Leiser Zug (bis Windstärke 1) : bis 2o %ige Erhöhung.
3. Mäßiger Wind (Windstärke 2-3) : %tuale Erhöhung extrem
da im Freiland nur geri
Taumengen.
4. Starker Wind (über Windst. 3) : kein Taufall.

Die Bewölkung wirkt vermindernd auf die Erhöhung im Windschut
Die Tauerniedrigung im zaunnahen Raum wird nur in den sehr se
Fällen absoluter Luftruhe nicht durch eine Erhöhung im weiter
stand vom Hindernis aufgewogen. Es wäre zweckmäßig, bei Winds
untersuchungen allgemein die ausstrahlungsbehinderte Zone vom
übrigen Schutzbereich zu trennen - zumal bei allen genügend d
blasbaren Hindernissen das Windminimum und damit die Meßstell
die ausgeprägtesten Windschutzwerte außerhalb dieser Zone lie

Die ökologische Bedeutung.

Die Angaben über die jährliche Taumenge gehen weit auseinan
Es wird zwar auch an unterschiedlichen Meßmethoden liegen, abe
wie der Vergleich Neckartal - Alb schon zeigt, ist der Taufall
gebietsweise recht unterschiedlich. MADE 1954 fand im mittel-
deutschen Trockengebiet im vierjährigen Mittel 8 - 11 mm/Jahr
1,4 - 2,6 % des Jahresniederschlages. BERNICK (zit. STEUBING 1
ermittelte dagegen auf der Insel Hiddensee (hohe Luftfeuchtigk
einen Taufall von 14,9 % des Jahresniederschlages. HANN - SUHR
1939 gibt für München eine Richtzahl von 3o mm = etwa 3 % des
lichen Niederschlages an. Zur monatlichen Verteilung des Taues
richtet MADE, daß die Taumengen ab Mai langsam ansteigen und i
September und Oktober ihr Maximum erreichen. Der Taufall wird
günstigt durch starke Wärmeausstrahlung, hohe relative Luftfeu
keit und durch Körper, die gute Wärmestrahler, aber schlechte

Wärmeleiter sind oder sonst geringe Wärmezufuhr erfahren. Dementsprechend ist der Taugenuß der Pflanzen je nach Wuchsart und Schichtung des Bestandes differenziert; herausragende Pflanzen und Arten mit geringer Massenentwicklung erhalten mehr Tau. Außerdem können auch hygroskopische Sekrete - im Gegensatz zur schwer benetzbaren Wachsschicht - die Taubildung verstärken.

Inwieweit läßt sich mit den Leick'schen Tauplatten der Taugenuß der Pflanzen ermitteln? Der vielzitierte Pflanzenfaktor HILTNERs, nach dem die Pflanzen etwa 5mal so viel Tau wie die Platten erhalten, hält neueren Untersuchungen nicht mehr stand. Es ist zunächst ein Fehlschluß, daß "eine reich gegliederte und ein Vielfaches der Bodenoberfläche betragende Pflanzenoberfläche allein schon etwa wie bei Adsorptionserscheinungen auch bei Tau eine größere Anlagerung bewirken muß" (HOFFMANN 1955, S. 24), denn mit der Gliederung wächst auch die Abschirmung und Gegenstrahlung benachbarter Körper. Dem Taufall ist weiterhin eine energetische Grenze gesetzt, die nach HOFFMANN in Mitteleuropa bei o,7 mm liegt. Das ist etwa das Doppelte des mit den Tauplatten in guten Taunächten aufgefangenen Kondenswassers. Auch das Vorhandensein und die Stärke nächtlicher Verdunstungsphasen spielt eine Rolle, denn die hygroskopische Platte gibt dann weniger Wasser ab als die Pflanzen. Insgesamt sind die Zusammenhänge so komplex, daß der Pflanzenfaktor außerordentlich schwankt; BERNICK (zit. bei HOFFMANN 1955) fand Werte zwischen o,2 und 2,8. Erwähnt werden soll noch, daß viele Pflanzen guttieren (Ausnahme: die meisten Leguminosen) und es sich bei den "taunassen" Wiesen auch in erster Linie um Guttation handeln kann (WALTER 196o).

Ein erhöhter Taugenuß kann auf folgende Art und Weise biologische Bedeutung erhalten:

1. Direkte Erhöhung der Bodenfeuchte durch Abtropfen auf die Bodenoberfläche. Das wird bei dem dichten Pflanzenbestand der Wiesen selten der Fall sein.
2. Direkte Erhöhung der Bodenfeuchte durch Kondensation in den Poren der obersten Bodenschichten. Sie ist entgegen früheren Meinungen (aber auch z.B. noch SCHNELLE 1948, S. 15) wegen des geringen Luftaustausches im Boden unbedeutend (WALTER 196o).
3. Herabsetzung der Transpiration durch die Dampfsättigung der unteren Luftschichten am frühen Morgen. Dadurch wird der Wasservorrat im Boden geschont und die Dauer der Assimila-

tionsmöglichkeit verlängert. Diesen Auswirkungen kommt
größere Bedeutung zu, zumal Untersuchungen von KOSTYT
(zit. bei LEHMANN und SCHANDERL 1942) ergaben, daß zu
malen Tagesausbeuten in der Kohlenstoffassimilation er
lich kurze Zeiten genügen. Angaben über die Verlängeru
Abtauvorganges im Windschutz sind der Arbeit von STEUB
1952/53 zu entnehmen.

4. Tauaufnahme durch oberirdische Pflanzenorgane. Sie ist
hängig vom Turgeszensdefizit und Alter der Organe (jun
Blätter nehmen stärker auf, METZEL 1934), sowie von de
Pflanzenart. Neuere Untersuchungen haben besonders le
in den Vordergrund gerückt. Nach STEUBING 1955 imbibie
Dactylus glomerata 56 % und Trifolium repens 59 %, An
silvestris dagegen nur 14 % des Tauniederschlags. Bei
ab o,7 g/Platte konnte STEUBING 1949 auch das Eindring
mit Berberinsulfat gefärbten Tauwassers in die Gefäße
ten.

Erwähnt werden mag hier auch noch die HILLTNERsche Theorie
wirkung (193o), nach der das Tauwasser ob seiner Salzfreihei
sondere Bedeutung hat. Diese Frage wurde aber später offensi
nicht mehr aufgegriffen.

Eine physiologische Bedeutung hat der Tau zweifelsohne; H
wie BERNICK konnten z.B. mit künstlich betauten Pflanzen auc
höhere Erträge erzielen. Es muß aber außerdem nach der ökolo
Bedeutung unter natürlichen Verhältnissen gefragt werden, un
ergeben sich entsprechend den Standortsfaktoren die vielfält
Kombinationen. Je nach Witterung, Pflanzenbestand und Bodenv
nissen wird der im Windschutz erhöhte Taugenuß ökologisch re
werden oder nicht. Im allgemeinen wird man nur in Krisenzeit
Wasserhaushaltes mit einer deutlichen Wirkung rechnen dürfen

D I E V E R D U N S T U N G

ethodik

Die Verdunstungsmessungen wurden mit Piche-Evaporimetern durch-
eführt. Diese werden seit langem in der Ökologie verwendet. Über
hre Brauchbarkeit, die physikalischen Vorgänge und die Meßmetho-
ik haben unter anderem LEICK 1939, BOSS 1952, WÄCHTERSHÄUSER
954 und UHLIG 1954 berichtet. Nicht eindeutig ist allerdings der
ame "Evaporimeter", denn nach LAATSCH 1957 z.B. bedeutet Evapora-
ion die direkte Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche
Evaporation + Transpiration = Verdunstung). Die Evaporimeter sind
ber physikalische Vergleichskörper zur Bestimmung der Verdunstungs-
raft der Atmosphäre, messen also weder die tatsächliche Ver-
unstung noch die Evaporation.

Zur Messung wurden die üblichen grünen Filtrierpapierscheiben
Schleicher und Schüll Nr. 2652) von 3 cm Ø, in einigen Fällen
uch solche von 4 cm Ø verwendet. Die größeren Scheiben können für
ersuche mit kurzzeitigen, z.B. stündlichen Ablesungen sowie zur
estimmung geringer Verdunstungsunterschiede durchaus empfohlen
erden. Um der besseren Vergleichbarkeit willen wurden allerdings
ie Werte der 4 cm-Scheiben auf 3 cm-Scheiben umgerechnet. Der
mrechnungsfaktor wurde empirisch als Mittelwert aus je drei
essungen an sechs Tagen zu o,615 bestimmt. Dieser Wert liegt
m o,o81 höher als der aus dem Flächeninhalt errechnete, da die
andwirkung der Verdunstung bei kleineren Scheiben größer wird.
ergleichsmessungen mit 5 cm-Scheiben ergaben größere Streuungen,
ielleicht, weil die Ränder bei hohem Verdunstungsanspruch nicht
ehr voll gesättigt werden, oder weil die Scheiben vom Winde be-
egt werden. Als Meßrohre wurden kalibrierte Reagenzgläser von
3 mm Ø verwendet. Sie wurden mit destilliertem Wasser gefüllt,
ie Scheiben nach spätestens zwei Tagen erneuert.

Schwierigkeiten bereitet die Wahl der Aufstellunghöhe, da sich
ier die gleiche Problematik wie bei der Windmessung ergibt. Es
urde schließlich die Höhe 1o cm über dem Bestand gewählt. Die
nterschiedliche Zusammensetzung und Schichtung des Bestandes
irkt sich auch hier noch geringfügig aus; das wurde jedoch da-
urch gemindert, daß an allen Meßstellen durchweg drei Evaporim-
eter aufgestellt wurden. Die Einzelwerte der Tagesverdunstung

zeigten im Mittel Unterschiede von o,1 bis o,2 ml, das sind bei einer mittleren Verdunstung von 5 ml/Tag 2 bis 4 %. Klei Fehler, wie sie durch plötzliche Erwärmung (WALTER 1928) oder vielleicht auch durch eine unterschiedliche Höhe der Wassersä entstehen, können hier vernachlässigt werden. Über Vergleichs sungen des Piche-Evaporimeters mit Verdunstungsschalen und Ve dunstungskugeln berichtet BAUMBACH 1952, eine Übersicht aller Methoden zur Bestimmung der Verdunstung gibt ALBRECHT 1951. E fahrungen mit einem registrierenden Piche- Athmographen beschreibt KLAUSING 1957.

Die Verdunstung bei senkrechter Anblasung.

Um die Verdunstungskurve möglichst genau zu ermitteln, wurd etwa 7o Evaporimeter auf 26 Meßstellen verteilt und morgens u abends abgelesen. Der Versuch wurde während einer Schönwetter periode Ende August-Anfang September 1959 durchgeführt. Die Ve dunstungsbedingungen waren bis auf die Windstärke recht gleich mäßig, so daß gerade der Einfluß der letzteren deutlich wurde. Das Ergebnis von sieben Meßreihen gibt die Abb. 49 wieder. In Luv verlaufen die Verdunstungskurven nahe beieinander. Die 9o%-Grenze (= 1o%ige Abschwächung) wird erst drei Meter vor de Zaun erreicht. In Lee weichen die Kurven erheblich voneinander ab. Während bei Windstärke 1 bis 2 die Verdunstung nur um 22 % geringer wird, erfährt sie bei Windstärke 2 bis 3 eine Verringe rung bis zu 3o %.

Diese Änderung der Verdunstungskurve mit zunehmendem Wind ve läuft, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, grundsätzlich an ders als die entsprechende Veränderung der Windkurve. Während d prozentuale Windverminderung im Mittel der gesamten Meßstrecke bei allen Geschwindigkeiten ungefähr gleich bleibt, ist die Schutzwirkung des Zaunes auf die Verdunstung je nach der herrschenden Windstärke außerordentlich unterschiedlich. Die Er klärung liegt darin, daß der Windanteil der Verdunstungsursache mit zunehmender Stärke auf Kosten der beiden anderen Anteile, des Sättigungsdefizites und der Strahlung, wächst-und damit auc die prozentuale Verminderung durch den Schutzzaun.

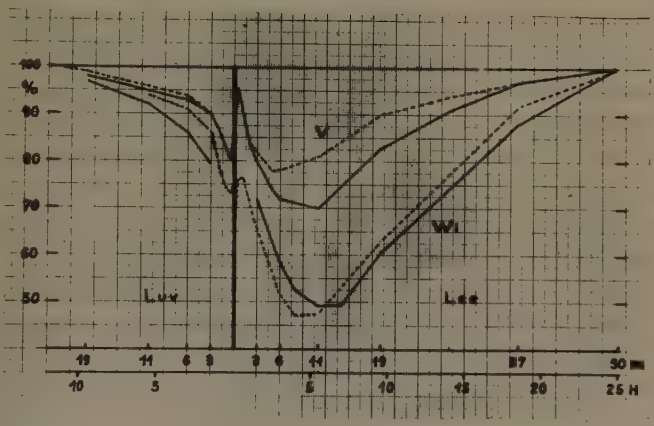


Abb. 49 Die Verdunstung im Windschutz bei Windstärke 1 - 2 ----- und 2 - 3 ——— , gemessen mit Piche-Evaporimeter. Zum Vergleich die Windverteilung bei den entsprechenden Windstärken.

e Verdunstung in Zaunnähe.

In unmittelbarer Nähe des Zaunes wird die Verdunstung zutzlich durch den Zaunschatten einerseits und durch eine hohe fttemperatur andererseits beeinflußt. In der Abb. 5o wird vercht, das Ausmaß dieser Beeinflussung durch einen Vergleich mit r Windkurve zu bestimmen. Als Verdunstungskurve wurde die oben läuterte verwendet. Unter den Umständen dieses Beispiels stwind, NW — SE Verlauf des Zaunes) sind diese zusätzlichen nflüsse so groß, daß die Verdunstungskurve wesentlich anders rläuft als die Windkurve. Es fehlt ihr das leeseitige, zaunnahe nimum, und die schon durch die Windkurve bedingte Verdunstungsnahme zwischen o,2 und o,5 m wird durch die hohe Lufttemperatur sehr verstärkt, daß 95 % des Freilandwertes erreicht werden. sgesamt ist die Erhöhung der Verdunstung auf der Lee- und uptsonnenseite größer als die Verminderung auf der Luv- und uptschattenseite.

Ein Beispiel für den Zauneinfluß auf dem Versuchsfeld
berg gibt die Abb. 51, in der ausgewählte Stundenwerte de
dunstung wiedergegeben werden. Sie zeigen noch deutlicher
die Tagesmittelwerte, wie sehr die Verdunstung in Zaunnäh
Tageslauf der Sonne bestimmt wird. Dabei ist zu berücksic
daß der Schatten umso intensiver wird, je schräger die St
auf den Zaun treffen, d.h. je höher die Sonne steht und j
sie parallel zum Zaun scheint. Deshalb rückt das Verdunst
minimum am Vormittag bzw. bis zum zaunparallelen Stand de
nicht nur näher an den Zaun heran, sondern prägt sich auc
ker aus. Um 13 Uhr beträgt die Verdunstung bei o,5 m nur
des Freilandwertes, obgleich die Hauptschattenseite hier
Leeseite zusammenfällt, so daß die Windverteilung die Sch
wirkung vermindert.

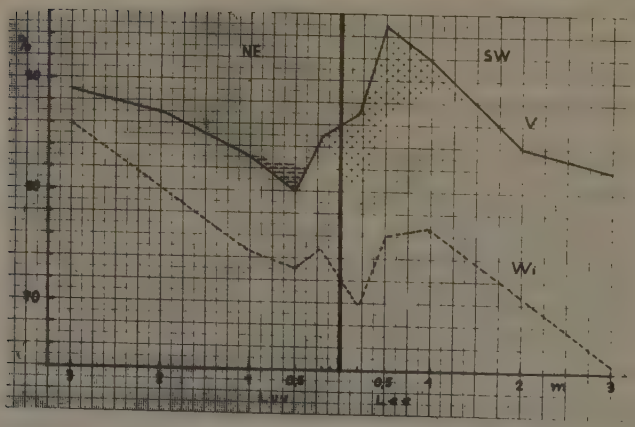


Abb. 5o Die Verdunstung in Zaunnähe. Aus dem Verg
mit der Windkurve ergeben sich Hinweise auf den Ei
von Schatten (gestrichelt) und Sonne (punktiert).
Mittelwerte der Verdunstung aus 7 heiter - leicht
wölkten Tagen. Zaunverlauf SE—NW (Weilheim).

Eine eingehende Untersuchung über die Strahlungsverminderung an Windschutzstreifen liegt von DIMMICK 1953 vor. Zur weiteren Orientierung können die Arbeiten von KAMPFERT 1951 über ein Phasendiagramm der Besonnung sowie von GEIGER 1935 und 1936 über die Beschattung und das Klima am Bestandsrand dienen.

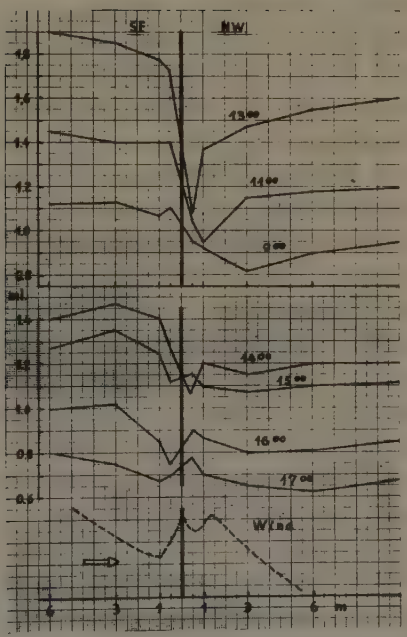


Abb. 51 Die Verdunstung in Zaunnähe auf dem Schömberg am 1o.9.1959. Wind E 3, Bew. 0. Zaunverlauf SW-NO. Lage und Ausmaß des Verd.-minimums werden hauptsächlich vom Sonnenstand bestimmt.

Der Tagesgang der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit und ihr Einfluß auf die Verdunstung.

An 13 Tagen wurden Verdunstung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Bodentemperatur stündlich abgelesen. Da Lufttemperatur (Lt) und relative Luftfeuchtigkeit (Lf) einen maßgebenden Einfluß auf die Verdunstung haben, sollen sie bereits hier mitbehandelt werden. Sie wurden mit einem Schleuderpsychrometer mit Quecksilberthermometern 1o cm über dem Bestand, also in gleicher Höhe wie die Verdunstung gemessen. Eine Kritik zur Tauglichkeit der Schleuderpsychrometer gibt BÜDEL 1931. Die Zahl der Meßstellen mußte auf maximal 6 beschränkt werden, da sonst die Ergebnisse bei den ohnehin geringen Unterschieden durch die lange Dauer eines Meßganges verfälscht worden wären. Bei jeder Messung wurden drei in den Mittagsstunden wegen der stärkeren Luftturbulenz (vgl. dazu KOCH 1937) mindestens fünf Einzelwerte gemittelt. Ein Meßgang dauerte etwa 1o Minuten. Leider waren keine Anemometer verfügbar, so daß die Windstärke nur geschätzt werden konnte. Sie wird hier nur als Tagesmittel angegeben; dabei gilt für alle Tagesgänge ein mittägliches Aufrischen und abendliches Abflauen.

Der Einfluß von Lufttemperatur und Luftfeuchte auf die Verdunstung im Windschutz wird im allgemeinen dahingehend beurteilt, daß die Erhöhung der Lt durch eine Erhöhung der Lf wieder ausgeglichen wird, so daß das für die Verdunstung maßgebende Sättigungsdefizit nicht verändert wird (z.B. NÄGELI 1943). Eine Untersuchung dieser Tagesgänge ergibt aber, daß präzisere Aussagen und Hinweise auf gewisse Regeln möglich sind. Einen ersten Überblick gibt die Tab. 13 mit der Wiedergabe der Tagesmittelwerte. Während die Lt im Windschutz durchweg, allerdings nur bis zu o,5° höher ist, erhöht sich die Lf nur bei heiterem Wetter, während sie bei Bewölkung bis zu 1 % niedriger sein kann. (Die Tagesgänge 1 und 2 stellen Ausnahmen dar, die aber vielleicht, da es die ersten Meßtage waren, mit methodischen Fehlern zusammenhängen).

Zur feineren Analyse anhand der stündlichen Werte werden die Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Verdunstung in einheitlichen Diagrammen wiedergegeben (Abb. 52 - 64). Zur Charakterisierung der Zusammenhänge dienen die ausgewählten Stundenwerte in der Tab. 14. Hier wurde auch das Sättigungsdefizit

) errechnet, da es die Wirkung der Lt und Lf auf die Ver-
stung in einem Wert wiedergibt. (Die Spannkraft des esättig-
Wasserdampfes wächst mit der Lt. Bei 1o° z.B. ruft eine rel.
von 5o % ein Sättigungsdefizit von 4,6 mm, bei 2o° von 8,8 mm
bei 3o° von 15,9 mm hervor). Die unterschiedliche Änderung
Lt, Lf und SD im Windschutz führt zur Aufstellung von 7 Typen,
in der Tab. 15 gekennzeichnet werden.

T a b e l l e 13

Die Tagesgänge von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Übersicht und Tagesmittelwerte.

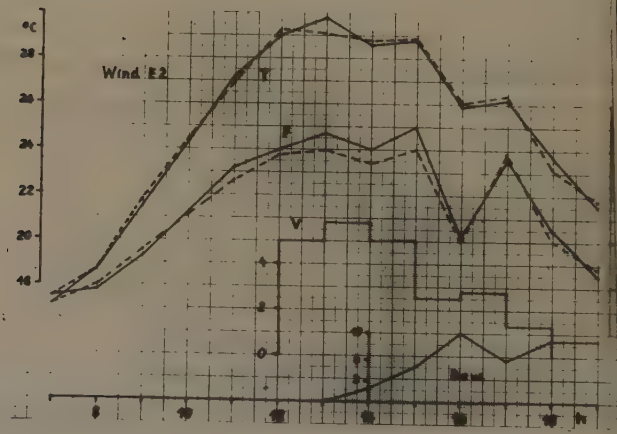
Ort, Datum,	Bestandshöhe cm	Tagesmittel Wind Bft.	Lt °C	Lf %	Bew. o-1o	Veränderung i.Windsch. Tagesmittel Lt °C	Lf %
K. 3o.8.58	1o	E 2	25	72	3	o	+ 1,3
W. 4.9."	12	E 2	2o	69	-	+o,3	- o,2
W. 5.9."	12	E 1-2	21	63	-	o	+ 1,2
K. 12.9."	15	E 3	(Mess.ab 13 Uhr)			+o,4	+ 1,4
K. 13.9."	15	E 2	19	66	-	+o,4	+ 2,5
Sch. 2o.6.59	8o	NW 3	21	64	4	+o,5	-o,9
Sch. 25.6."	8o	SE 2-3	19	58	7	+o,3	-o,9
Sch. 1o.7."	9o	NW 2-3	26	55	4	+o,5	o
K. 24.8."	12	E 2	24	73	1	+o,2	o
K. 25.8."	12	E 2	24	78	1	+o,2	- o,5
Sch. 1o.9."	12	E 3	2o	49	-	+o,2	+ 2,3
K. 12.9."	15	E 1-2	2o	66	-	+o,2	+ 4,o
W. 14.9."	15	E 2-3	19	69	-	+o,1	+ 2,o

Abb. 52 - 64. Tagesgänge 1 - 13 (Vgl. Tab. 13).

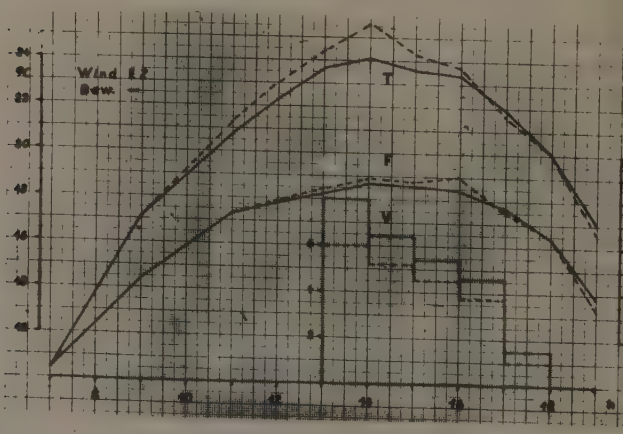
Legende :

T Temperatur
F rel. Luftfeuchtigkeit
V Verdunstung (Piche), in Zehntel ml.

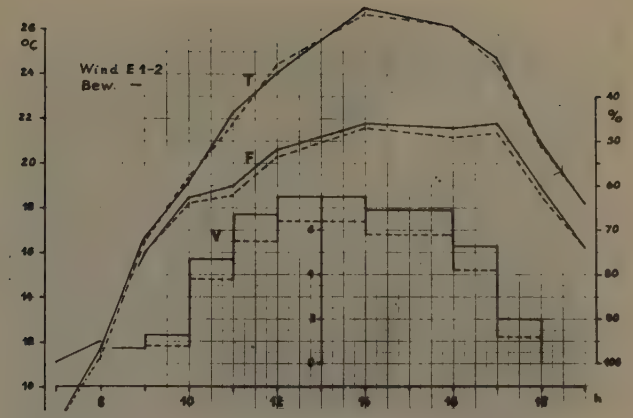
——— Freiland
------ Windschutz
Bew Bewölkung (n



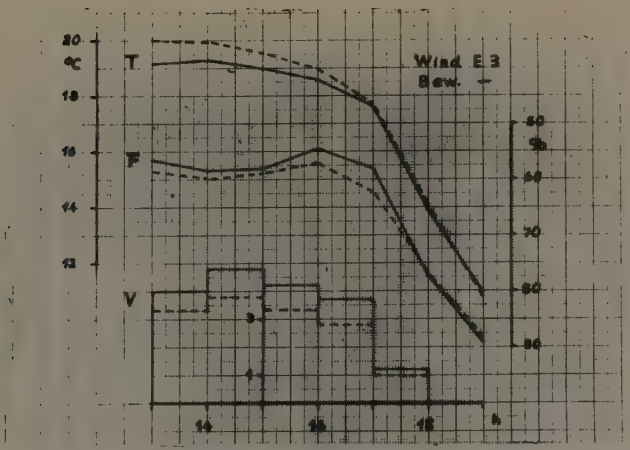
Tagesgang 1. Kirchentellinsfurt 30.8.58.
Verdunstung erst ab 12 Uhr abgelesen.



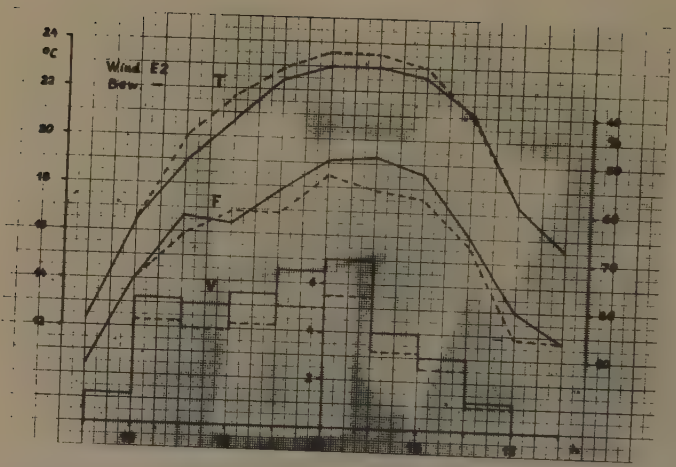
Tagesgang 2. Weilheim 4.9.58
Verdunstung erst ab 13 Uhr abgelesen.



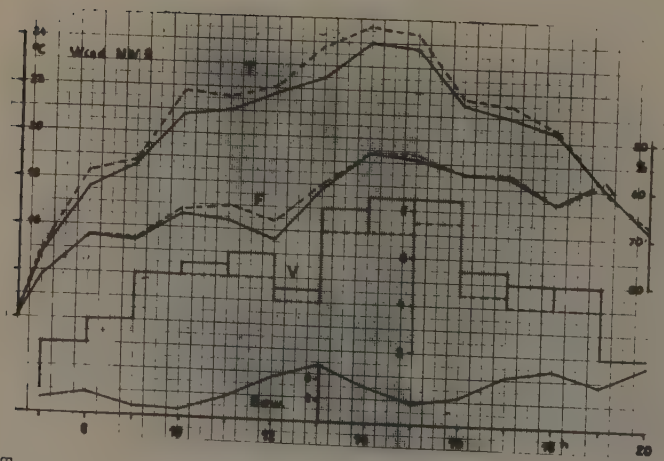
Tagesgang 3. Weilheim 5.9.58



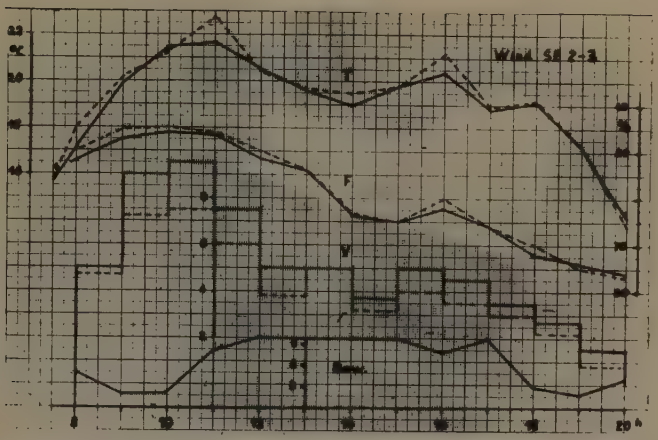
Tagesgang 4. Kirchentellinsfurt 12.9.58



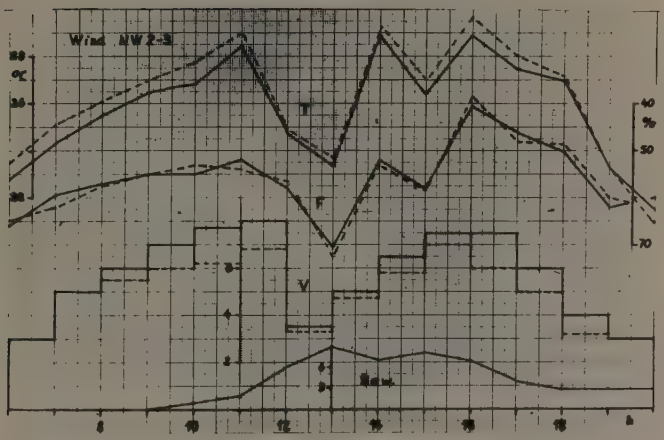
Tagesgang 5. Kirchentellinsfurt 13.9.58



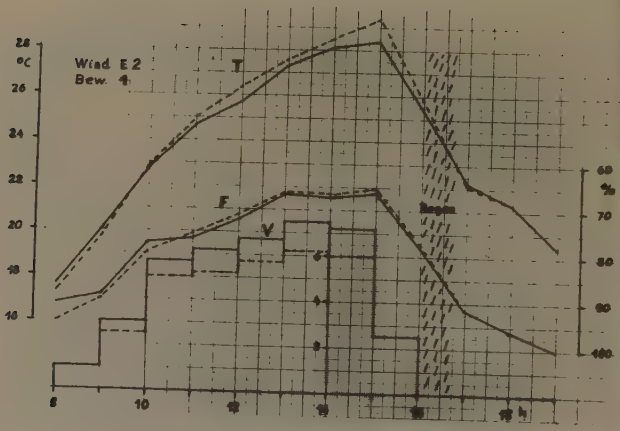
Tagesgang 6. Schömberg 2o.6.59.



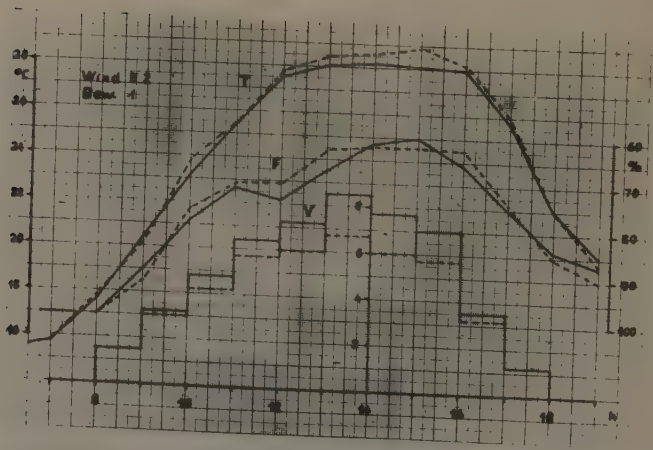
Tagesgang 7. Schömberg 25.6.59.
Von 13 - 14 Uhr SW-Wind.



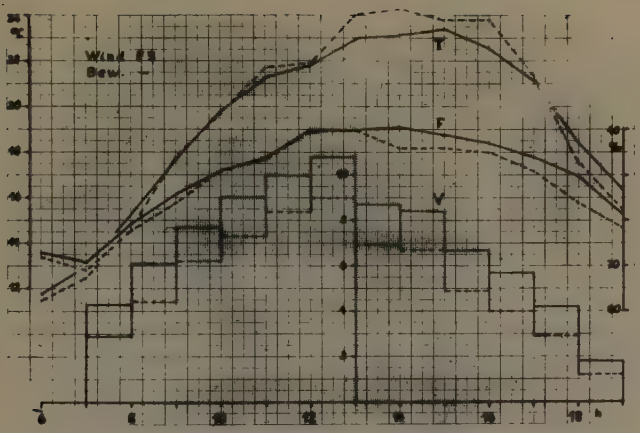
Tagesgang 8. Schömberg 1o.7.59.



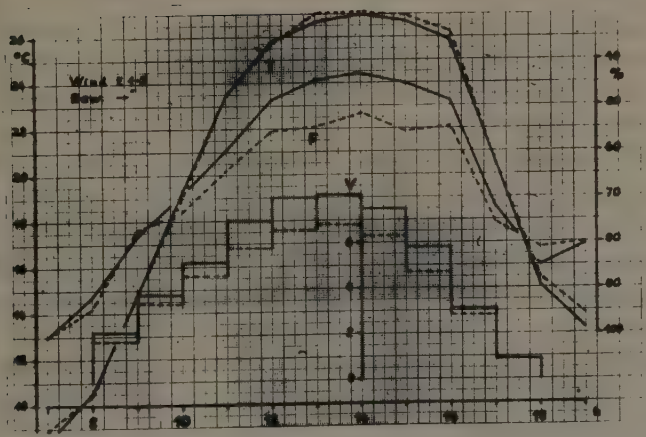
Tagesgang 9. Kirchentellinsfurt 24.8.59.



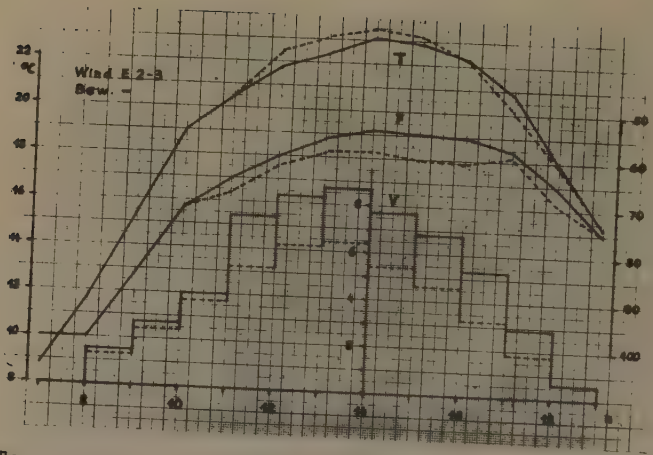
Tagesgang 1o. Kirchentellinsfurt 25.8.59



Tagesgang 11. Schömberg 1o.9.59



Tagesgang 12. Kirchentellinsfurt 12.9.59.



Tagesgang 13. Weilheim 14.9.59.

Bei bewölktem Wetter bleibt die Erhöhung der abs. Lf in der Regel hinter der Erhöhung der Lt zurück, so daß sich eine Verminderung der rel. Lf und eine Erhöhung des Sättigungsdefizites ergibt (Typ Ic). Bei heiterem Wetter ergeben sich je nach dem Ausmaß der Erhöhung der abs. Lf mehrere Typen. Am häufigsten tr der Typ V auf, der sich durch eine deutliche Verminderung des Sättigungsdefizites auszeichnet.

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit ändern sich im Windschut im allgemeinen in der Weise, daß die Verdunstung durch sie b bewölktem Wetter vergrößert, bei heiterem Wetter vermindert

Größere Bedeutung hat auch der Typ VII, der sich in der Regel an heiteren Tagen etwa zwei Stunden vor Sonnenuntergang einstell Sowie die Ausstrahlung dieEinstrahlung übertrifft, wird es im Windschutz kälter als im Freiland, und damit steigt selbst bei gleichbleibender abs. Lf die rel. Lf stark an, und das Sättigung defizit fällt dementsprechend.

Praktische Beispiele für die Typen können aus der Tab. 14 ent nommen werden. Die Bindung der Typen an den Bewölkungsgrad ist nicht streng, es kann z.B. auch bei schwacher Bewölkung der "hei

T a b e l l e 14

ttemperatur, rel. Luftfeuchte und Sättigungsdefizit zu ausgewählten Tageszeiten.

esg. r.	Uhr	Bew. o-1o	Freiland Lt °C	Freiland Lf %	Freiland SD mm	Windschutz Lt °C	Windschutz Lf %	Windschutz SD mm	Typ
bewölkte Tage									
7	11	8	22	46	11	+1,1	-o,5	+1,9	I
	16	8	2o	62	7	+1,o	-2,o	+o,8	I
5	12	6	22	72	6	+o,3	-4,o	+o,9	I
9	15	3	29	66	1o	+1,o	-1,o	+o,8	I
8	11	2	28	52	14	+o,6	+2,o	-o,1	V
	16	7	29	41	18	+o,8	-o,2	+o,5	I
9	13	2	2[illegible]	68	9	+o,3	-4,5	+1,5	I
	15	-	28	6o	11	+o,8	+2,o	-o,1	V
heitere Tage									
1	13	-	23	4o	13	+1,o	o	+o,8	II
	15	-	23	41	13	+o,5	+3,o	-o,3	V
	18	-	18	5o	8	-1,2	+6,5	-1,5	VII
4	13	-	19	57	7	+o,8	+2,o	o	IV
	17	-	18	58	7	+o,1	+4,o	-o,6	V
5	15	-	23	49	11	+o,6	+6,5	-1,o	V
2	15	-	27	45	15	+o,3	+1o,5	-2,6	V
3	16	-	22	55	9	o	+5,5	-1,1	VI
3	14	-	27	46	14	-o,2	+1,o	-o,4	VII

T a b e l l e 15

Die Änderung der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und des Sättigungsdefizites im Windschutz.

Typenbezeichnung nach dem Verhältnis zwischen Lufttemperatur (
Luftfeuchte (Lf) und Sättigungsdefizit (SD).
+ Erhöhung, - Verminderung, O keine Veränderung.

	Typ	Lt	Lf abs.	Lf rel.	SD	
vorwiegend bewölkt	Ia	+	-	-	+	selten, z.I Tagesg. 1o,
	Ib	+	o	-	+	selten (Gr
	Ic	+	sehr gering +	-	+	häufig
vorwiegend heiter	II	+	+ gering	o	+	selten (Gre
	III	+	+ mäßig	+	+	selten, z.B 3 m in Abb.
	IV	+	+ stark	+	o	selten (Gre
	V	+	+ sehr stark	+	-	häufig
	VI	o	+	+	-	selten (Gre
	VII	-	+	+	-	Abendtyp, tags selten

) V entstehen, allerdings nur mit einer geringen Erniedrigung
ines Sättigungsdefizites (Tagesgang 8 und 10). Ein instruktives
ispiel für die Abnahme des Sättigungsdefizites im Windschutz
etet der Tagesgang 11. In einem Fall wurde auch mittags im Wind-
utz eine niedrigere Lt, also der Abendtyp, gemessen (Tages-
ng 3). Die Tabelle 14 ermöglicht ferner, die Tagesmittelwerte
r Veränderung der Lt und Lf im Windschutz durch die Maximal-
te zu ergänzen:

Lufttemperatur	: -1,2°	bis + 1,1°
rel.Luftfeuchte	: -4,5%	" +10,5%
Sättigungsdefizit	: -2,6mm	" + 1,9 mm

Die Feuchte- und Temperaturverhältnisse in verschiedener Ent-
nung vom Windschutzzaun werden durch die Abb. 65 - 68 illustriert.
tritt dabei eine wichtige Erscheinung auf: das Lt-Maximum liegt
el näher am Zaun als das etwa der Lage des Windminimums ent-
rechende Maximum der rel. Lf. Wahrscheinlich wird diese Ver-
niebung durch die Reflexion der Strahlung am Zaun verursacht.
e die Abb. 66 zeigt, kann die hohe Lt in unmittelbarer Zaunnähe
zu führen, daß die rel. Lf geringer und das Sättigungsdefizit
ößer als sogar im Freiland werden. Damit finden auch die hohen
rdunstungswerte ihre Erklärung. Die oben beschriebenen Typen
r Feuchte- Temperaturverhältnisse können also nicht nur zur
arakterisierung bei verschiedenen Witterungsbedingungen, sondern
ch innerhalb des Meßprofils verwendet werden. Die Abb. 67 u. 68
ellen die Mittelwerte von 11 - 17 Uhr (Einstrahlung) dem um 18
d 19 Uhr herrschenden Abendtyp (Ausstrahlung) gegenüber. Während
s Tages gleichen sich die Erhöhung der Lt und der Lf ungefähr
s: das Sättigungsdefizit wird kaum verändert. Bei 3 m Lee liegt
r Typ III vor: die relative Lf ist zwar erhöht, jedoch nicht so
ark, daß es - bei der erhöhten Lt - zu einer Verringerung des
ttigungsdefizits kommt. Am Abendtyp fällt auf, daß das Lt-Mini-
n nicht zum Zaun hin verschoben ist. Die schon während des Tages
rhandene größere Lf wird durch die schnell eintretende Lt-Er-
edrigung weiter erhöht. Dadurch wird die Verdunstung, soweit sie
m Sättigungsdefizit bestimmt wird, besonders stark herabgesetzt.

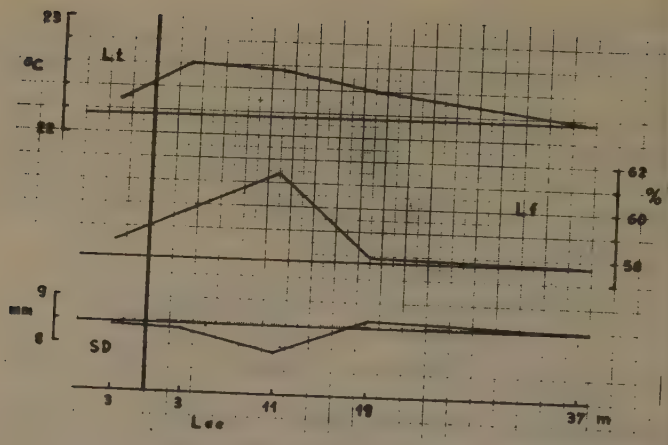


Abb. 65 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sättigungsdefizit vom Tagesgang 13. Mittelwerte 11 - 16 Uhr. Bis 11 m Typ V, ab 19 m Typ III (Vgl. Tab. 15).

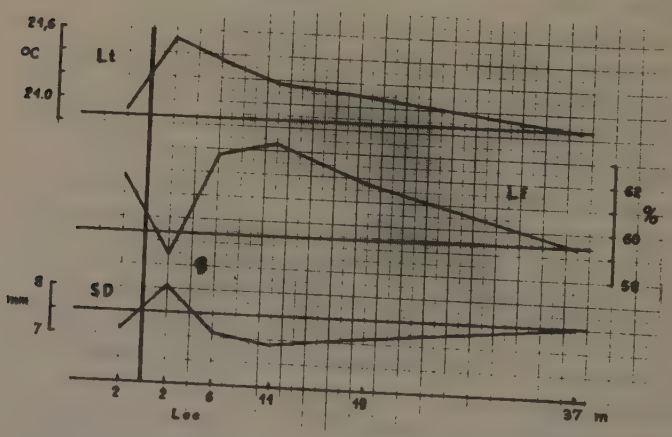


Abb. 66 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sättigungsdefizit vom Tagesgang 5. Mittelwerte 11 - 18 Uhr. Bei 2 m Lee Typ I, im übrigen Windschu bereich Typ V.

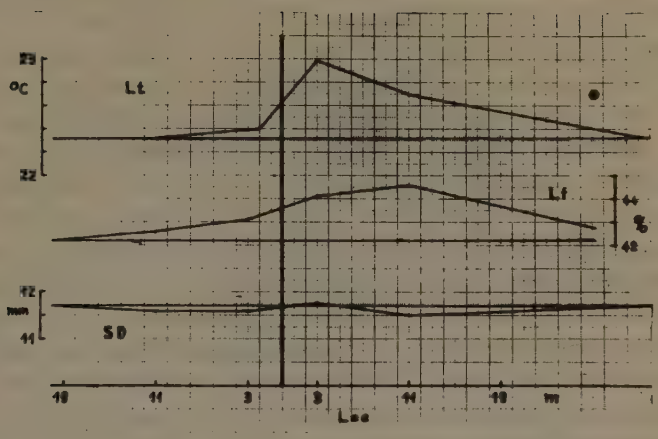


Abb. 67 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sättigungsdefizit vom Tagesgang 11. Mittelwerte 11 - 17 Uhr. Bei 3 m Lee Typ III, sonst Typ V.

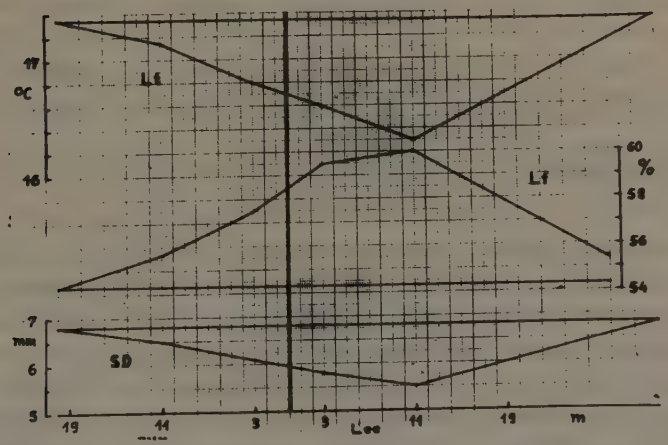


Abb. 68 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sättigungsdefizit vom Tagesgang 11. Mittelwerte vom 18 und 19 Uhr. Abendtyp!

Eine Erhöhung der Lufttemperaturen im Windschutz wurde in allgemeinen auch von früheren Autoren gefunden. Besonders hohe Werte fand HOHENDORF 1955 bei Untersuchungen auf Wiesen; das Tagesmaximum war im Durchschnitt um 2.8°, das Tagesminimum um 0.8° erhöht. Die Tagesamplitude war im Windschutz also größer. Es gibt allerdings auch entgegengesetzte Befunde. CZARTORYSKI und MICHALIK 1955 sowie SOWINSKI 1955 berichten von einer Senkung der Tageshöchsttemperaturen, so daß die Amplitude geringer war. Untersuchungen nicht nur der Lufttemperaturen, sondern auch des thermischen Verhaltens der Pflanzen im Windschutz führte CASPERSON 1957b durch. Mit Hilfe von Themoelementen aus Haardrähten stellte er fest, daß die Blätter eine weit größere Temperaturerhöhung aufwiesen als die umgebende Luftschicht. Leider untersuchte er keine Wiesenpflanzen; seine Ergebnisse könnten jedoch für wärmeholde Pflanzengesellschaften wie die Glatthafer-wiesen Bedeutung erlangen. Eingehende Untersuchungen über die gemeinen Temperaturverhältnisse in den Beständen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen führten TAMM 1936 und 1939 und TAMM, GRAF und FUNKE 1956 durch. Versuche über den Einfluß des Wärmenaushaltes auf das Pflanzenwachstum werden von HESSE 1959 beschrieben, vergleichende Messungen der Temperaturverhältnisse in verschiedenen Wiesen- und Rasengesellschaften von MÜLLER-STOLL und FREITAG 1956. Die Zusammenhänge zwischen Temperatur und Wind in der bodennahen Schicht bis 1o m behandelt aus meteorologischer Sicht HENNING 1957. Ältere einschlägige Arbeiten nennt HUBER

Die Abhängigkeit der prozentualen Verdunstungsminderung von der Witterung.

Es wurde bereits gezeigt, daß die prozentuale Verminderung der Verdunstung mit der Windstärke ansteigt. Zur Untersuchung weiterer Beziehungen zur Witterung wurden alle 34 bei senkrechter Anblasung gewonnenen Tagesmeßreihen nach ihrer prozentualen Verdunstungsminderung im Windschutz geordnet und in vier Gruppen eingeteilt. Von jeder Gruppe wurden außerdem die Mittelwerte des Sättigungsdefizites, der Lufttemperatur, der Windstärke, der Sonnenscheindauer und der Verdunstung im Freiland errechnet. Ergebnis gibt Abb. 69 wieder.

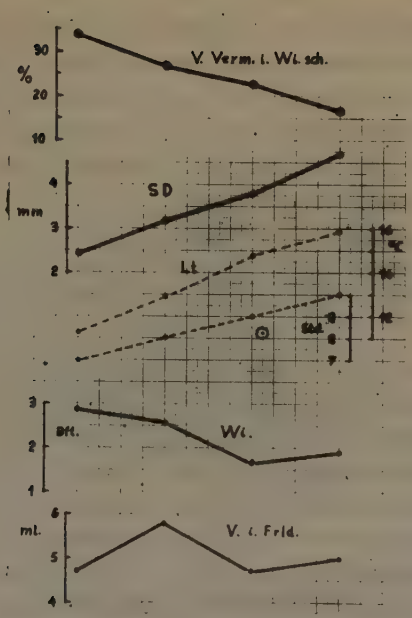


Abb. 69 Prozentuale Verdunstungsminderung und Witterung (Sättigungsdefizit, Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Windstärke). Zusätzlich die mittl. Tagesverdunstung im Freiland.

Eindeutige Beziehungen ergeben sich zum Sättigungsdefizit. seiner Erhöhung sinkt - selbst bei gleichbleibender Windrke - der Windanteil als Verdunstungsursache und damit die zentuale Verminderung der Verdunstung. In der Praxis kommt zu, daß die Tage mit niedrigem Sättigungsdefizit in der Regel diger sind, beide Faktoren dann also zu hoher prozentualer dunstungsminderung führen. Die stärkste Verminderung von 4o % de im Oktober 1958 bei Windstärke 4 und einem Sättigungsdeit von o,5 mm gemessen. Die Verdunstung im Freiland ergibt h in erster Linie aus dem Sättigungsdefizit und der Windstärke. der Abbildung ist ersichtlich, wie dem steigenden Sättigungsfizit zunächst eine steigende Verdunstung entspricht, sich n jedoch der starke Abfall der Windstärke bestimmend auswirkt.

Das Sättigungsdefizit ist ursächlich stark mit der Lufttemperatur und der Sonnenscheindauer verknüpft. Alle drei Faktoren weisen darauf hin, daß die prozentuale Verdunstungsminderung sowohl einen Tages- wie einen Jahresgang aufweisen muß. Für das Sättigungsdefizit z.B. ergaben sich 1958 und 1959 folgende Monatsmittel für Tübingen :

	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	
1958		1,8	3.6	4.o	4.o	3.5	2.5	mm
1959	1.6	2.8	3.4	4.o	5.3	3.4	4.o	mm

Entsprechend diesen Werten verhält es sich auch mit der prozentualen Minderung der Verdunstung. Sie ist an heiteren, warmen Sommertagen nur etwa halb so groß wie an bewölkten, kühlen Frühlings- oder Herbsttagen. Wie im vorigen Abschnitt erörtert wurde, ist die Verdunstungsminderung, soweit es sich nur um den Einfluß der Sättigungsdefizitänderung im Windschutz handelt, bei heiterem Wetter größer. Dieser Einfluß wirkt dem hier geschilderten also entgegen, bleibt aber größenordnungsmäßig unbedeutend.

Die Verdunstung während eines längeren Zeitraumes.

Vom 8. April bis zum 7. Juni 1959 wurde auf dem Feld Weilheim die Verdunstung mit geringen Unterbrechungen jeden Abend abgelesen. Die insgesamt 45 Tageswerte ergaben eine mittlere Freilandverdunstung von 4,9 ml/ 24 Std. An 18 Tagen wehte der Wind aus westlichen, an 13 Tagen aus östlichen Richtungen und an 14 Tagen traf er schräge auf den Zaun. Die Abb. 7o gibt eine repräsentative Auswahl aller sich ergebenden Kurvenformen der Verdunstung. Zu ihnen geben die angeführten Kennzahlen Hinweise au die jeweiligen Witterungsbedingungen, so daß sich z.B. die Einflüsse der Windstärke und des Sättigungsdefizites erkennen lassen.

Die mittlere prozentuale Verdunstung während der 45 Tage zeigt die Kurve a der Abb. 71. Ähnlich wie bei der entsprechenden Windkurve (Abb. 36) wird deutlich, wie sehr sich sowohl Ausmaß als auch Verteilung der Verdunstungsminderung ändert, wenn die Untersuchungen auch die nicht senkrecht auf den Zaun treffenden Winde berücksichtigen.

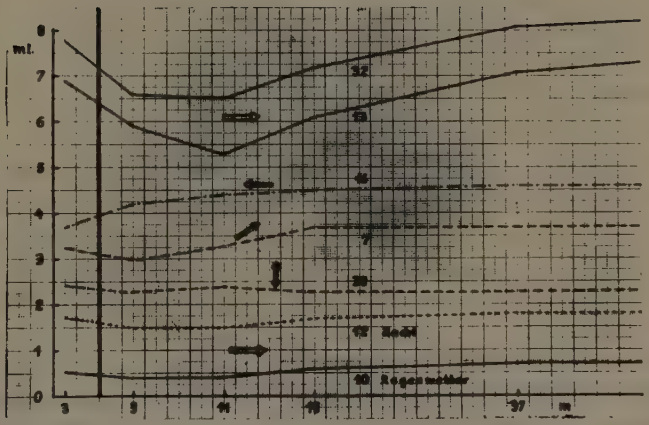


Abb. 7o Verteilungskurven der Verdunstung (Tageswerte), ausgewählt aus 45 Meßreihen im April und Mai 1959. Die Pfeile geben an, wie der Wind auf den Zaun traf.

zahlen :

Datum	Wind Bft.	Bew. n/1o	Sonne Std.	Lf %	Lt °C	SD mm	Kurvenformen
25.5.	3	1	14	58	15	5.4	Lee
26.4.	3	8	5	64	12	3.8	Lee
29.4.	2	9	2	65	15	4.5	Luv
15.4.	1-2	7	7	68	14	3.9	Wind schräge
31.5.	1-2	8	5	73	12	2.8	Wi.parallel
25/26.4.	?	?	?	?	?	?	Nacht (Lee)
19.4.	4	1o	o	9o	7	o.7	Regenwetter

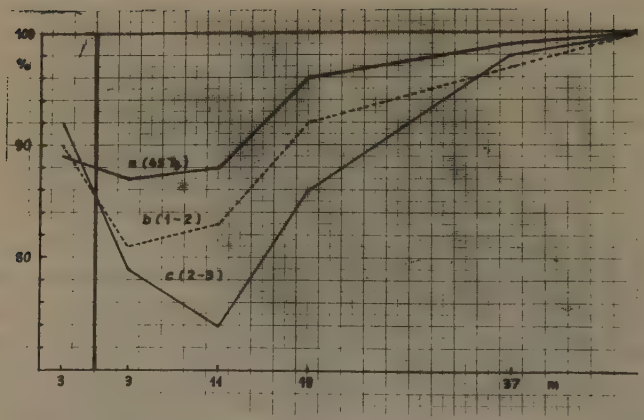


Abb. 71 Mittlere prozentuale Verteilung der Verdunstung während 45 Tagen im Frühjahr 1959. Zum Vergleich die Verdunstung bei senkrechter Anblasung bei Windstärke 1-2 (Mittel aus 21 Tagen) und 2-3 (Mittel aus 13 Tagen).

Die zum Vergleich eingezeichneten Kurven b und c wurden aus a bei senkrechter Anblasung gemessenen Werten gewonnen. Sie zeig noch einmal die prinzipiellen Veränderungen der Verdunstung mi wachsender Windstärke, verlaufen aber flacher als die entsprec den Kurven der Abb. 49, da hier bei der Auswahl der Meßreihen senkrechte Auftreffen des Windes nicht so streng beurteilt wur

Diskussion.

Detaillierte Windschutzuntersuchungen über die Abhängigkeit der Verdunstungsminderung von der Witterung liegen bisher kaum vor. STEUBING 1952/53 berichtet, daß die Verdunstung bei gerin Windstärke im Windschutz größer sein kann als im Freiland (wah scheinlich aber nur in Nähe des Schutzstreifens, wo die Lufttemperatur besonders hoch ist!). Angaben über die Schattenwirk macht WÄCHTERSHÄUSER 1954, er fand eine 3o %ige Verdunstungsminderung. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Verdunstun

der Bodenart und seinem Sättigungsgrad führten KREUTZ 1937
1952c und BLENK und TRIENES 1956 durch.
Die allgemeinen Zusammenhänge zwischen Wind und Verdunstungs-
ße sind vielfach untersucht worden. Genaue Angaben gibt
NK 1952 nach Untersuchungen im Windkanal. Die Verdunstung
igt mit der Windgeschwindigkeit etwas weniger als linear an,
wache Winde haben also eine relativ größere Wirkung. Zu dem-
ben Ergebnis kommt KUCERA 1954. Den Einfluß des Sättigungs-
izites untersuchten u.a. WÄCHTERSHÄUSER 1954 und HEIGEL 1957.
Verdunstungszunahme durch Wind ist umso stärker, je größer
Sättigungsdefizit ist; bei hoher Luftfeuchte vermag der Wind
Verdunstung nicht mehr zu steigern. Eine Ergänzung dazu er-
en die Messungen von GRUNOW und LEISTNER 1958 : auch bei
driger Luftfeuchte wird die Verdunstungssteigerung minimal,
n die Windgeschwindigkeit über 5 m/sec. ansteigt. Von Interesse
d ferner die Korrelationskoeffizienten, die z.B. BRIGGS (zit.
UHLIG 1954a) für die Beziehungen zwischen Verdunstung und den
eorologischen Elementen errechnete: Sättigungsdefizit o.88,
ttemperatur o.65, Sonnenstrahlung o.65. Für den Wind gehen die
aben auseinander, BRIGGS : o.22, WÄCHTERSHÄUSER : o.45 (Zufalls-
nze bei o.27).

e ökologische Bedeutung.

Die Transpiration der Pflanzen wird von einer physikalischen
mponente und einer physiologischen Komponente bestimmt. Zur
steren gehören der Verdunstungsanspruch der Luft und der nutz-
re Wassergehalt des Bodens, zur letzteren der anatomische Bau,
e physiologische Leistung und die spezifischen Regulationsein-
chtungen der Pflanze. Zur Beurteilung der ökologischen Bedeu-
ng der Verdunstungsminderung im Windschutz muß deshalb zunächst
prüft werden, wieweit die gemessenen Werte der Transpiration
tsprechen, bzw. unter welchen Umständen sie abweichen.

Der Verdunstungsanspruch der Luft. Die Brauchbarkeit der
aporimeter zur Messung der Verdunstungskraft wird im allgemeinen
erkannt (vgl. aber FILZER 1936). Bei Windschutzuntersuchungen
itt jedoch die bereits erwähnte Schwierigkeit auf, daß man die
aporimeter nicht im Bestand anbringen kann - zumindest dann,

wenn man die Abhängigkeit der Verdunstungsminderung von der Entfernung vom Schutzstreifen untersuchen will. Der Verdunstungsanspruch ist aber im Bestand ein anderer, und außerdem ändert er sich auch innerhalb des Bestandes mit der Annäherung an den Boden (vgl. auch STOCKER 1923). Bei vergleichenden Messungen im Bestand in Weilheim und auf dem Schömberg zeigte sich der große Einfluß der Schichtungsverhältnisse (Abb. 72). Während z.B. in 4o cm Höhe die Verdunstung im Vergleich zur üblichen Meßhöhe (1o cm über dem Bestand) in Weilheim 5o % betrug, belief sie sich in den viel lockeren Bestand auf dem Schömberg auf 7o %. In Bodennähe bei 1o cm waren die Unterschiede noch größer : in Weilheim wurden nur 7 %, auf dem Schömberg noch 25 % ermittelt. Vergleichszahlen für ein Molinietum und andere Gesellschaften finden sich bei MÜLLER - STOLL und FREITAG 1957.

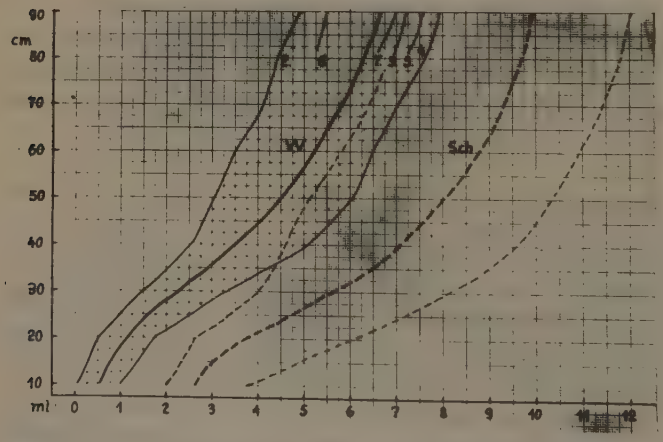


Abb. 72 Die Verdunstung im 8o cm hohen Bestand in Weilheim und auf dem Schömberg im Juni 1959. Dicke Linien = Mittel aus sechs Tagen, dünne Linien = einzelne Tage (diese laufen etwa parallel; bei Sch. nur Tage mit Extremwerten eingezeichnet). Kennzahlen für Weilheim:

	2.	6.	7.	3.	5.	4. Juni
Wind (Bft).	1-2	2	2	1	1	1-2
Sättig.-defizit(mm)	2.9	3.8	4.o	5.4	7.3	7.9
So.sch.dauer (Std.)	4	7	9	11	13	13

verändert sich aber nicht nur der Verdunstungsanspruch, son-
n es verschieben sich auch die Anteile der Verdunstungsur-
he. Im lockeren Bestandz.B. steigt der Strahlungsanteil auf
ten des Windanteils (HEIGEL 1957), und damit verringert sich
prozentuale Verdunstungsminderung durch den Windschutz. D.h.
über dem Bestand gewonnene Kurve der prozentualen Ver-
stung kann nur unter Einschränkungen auf die Verhältnisse im
tand übertragen werden.

Der nutzbare Wassergehalt im Boden. Bei guter Wasserver-
gung laufen Tagesgang der Evaporimeterverdunstung und der
nspiration etwa parallel. Bei erschwerter Wasserversorgung
n die Transpiration jedoch so sehr abweichen, daß von den
porimeterwerten keine Rückschlüsse auf die Transpiration mög-
h sind. Ein Beispiel dazu zeigt die Abb. 73. Wertvolle Hin-
se auf das Verhältnis zwischen Verdunstungsanspruch und
ektiver Verdunstung im Zusammenhang mit dem Wasservorrat des
ens gibt GEIGER 1939 in einer Analyse von 14 sommerlichen
ckenperioden.

Die physiologische Komponente. Die Transpirationseinschränkung
das Ergebnis der Schließung der Spaltöffnungen. Entscheidend
rfür ist aber nicht nur die Wasserversorgung, sondern die ge-
te Wasserbilanz, also auch der Verdunstungsanspruch und die
spezifische mehr xeromorphe oder hygromorphe Konstitution.
se Vielzahl der Faktoren erschwert die Beurteilung, wann eine
nspirationseinschränkung eintritt, außerordentlich. SEKERA 1931
. nahm an, daß die Pflanzen allgemein in den heißen Mittags-
nden eines Sommertages die Spaltöffnungen schließen. Unter-
hungen von BORNKAMM 1958 im oberen Leine-Gebiet ergaben aber,
von den elf häufigsten Arten des Trespen-Halbtrockenrasens
wenige (z.B. Lotus corniculatus) eine mittägliche Transpira-
nseinschränkung vornehmen. Für frische Fettwiesen scheint
derum mehr die Auffassung SEKERAs zuzutreffen, denn PISEK und
TELLIERI 1942 fanden, daß die Transpiration bei bewölktem
ter nur wenig hinter jener an klaren Sommertagen zurückblieb,
ange es nicht gleichzeitig feucht und kühl war. Einzelne Ar-
, zlB. Poa trivialis, wiesen eine besonders hohe Schatten-
nspiration auf.

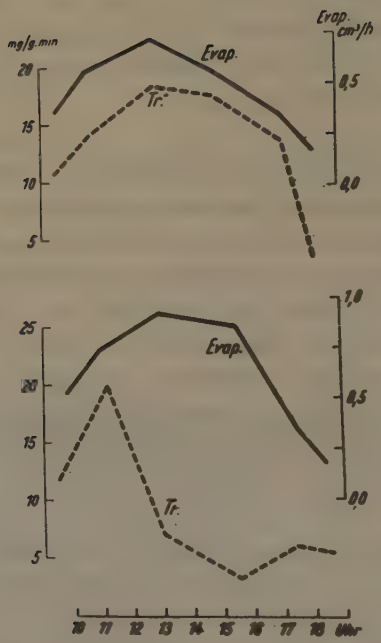


Abb. 73 Tagesgang der Transpiration des Sonnenröschens (in mg/g.min) und der Verdunstung (Piche, in ccm/h). Oben zu Beginn einer Trockenperiode, unten während derselben.
Nach MÜLLER-STOLL aus UHLIG 1954c.

Die Berücksichtigung aller Umstände ergibt, daß die Transpi-
tionsverhältnisse nur sehr unvollkommen mit Evaporimeter-
ssungen ermittelt werden können. Entsprechendes gilt für die
rkungen des Windschutzes auf die Transpiration, denn gerade
den für die Vegetation kritischen Zeiten weichen Verdunstungs-
spruch und Transpiration voneinander ab. Als Ausweg bieten sich
rscheinlich nur Lysimetermessungen an. Dabei kann auf Erfah-
ngen z.B. der Eberswalder Lysimetermessungen zurückgegriffen
rden (BARTELS 1933, FRIEDRICH 1934). Auch HESSE 1954 a b c
tersucht den Einfluß der wichtigsten meteorologischen Faktoren
f die Transpiration mit Kleinlysimetern.

Über die Wirkung des Windes auf die Transpiration berichten
LTER 1928, GRADMANN 1932, FIRBAS 1931, FILZER 1933, WRENGER
35/36 und GÄUMANN und JAAG 1939. Besonders wichtig für den
ndschutz ist die Arbeit von GRIEP 1940/41. In ihr wird unter-
cht, in welcher Weise die Windwirkung durch andere Faktoren, wie
B. Boden- und Luftfeuchte, Pflanzenkonstitution und Lichtinten-
tät beeinflußt wird. Die Abhängigkeit des Pflanzenertrages von
r Transpiration ist Gegenstand einer ausführlichen Untersuchung
n KUHNKE 1936. Auch ATANASIU 1952 gibt eine eingehende Darstel-
ng des Wasserhaushaltes unserer Kulturpflanzen. Über den Wasser-
satz künstlicher Pflanzenbestände (Topfversuche) berichtet
LZER 1939.

D I E B O D E N F E U C H T E

thodik.

Zur Bestimmung der Bodenfeuchte wurden Proben aus 5 cm und
cm Tiefe in 100 ml fassende Schraubdeckelgläser gefüllt, im
bor in offene Schälchen umgeschüttet und bei 105° bis zur Ge-
chtskonstanz getrocknet. Die Gewichtsdifferenz ergibt den
ssergehalt in Vol.%. Die Proben wurden bei 3 Meter Luv sowie
i 3, 11, 19, 37 und 50 m Lee entnommen, und zwar an je drei
Bstellen (vgl. Abb. 14). In Kirchentellinsfurt wurden die Pro-
n gleichermaßen östlich wie westlich des Zaunes entnommen. Die
tersuchungen wurden vom Mai 1958 bis September 1959 durchge-

führt. Die Proben wurden in der Regel alle drei Wochen entnommen, und zwar von allen Versuchsflächen am gleichen Tag. Die Entnahmestellen wurden jeweils mindestens 3o cm gegenüber den alten versetzt.

Nach allgemeinen Erfahrungen unterliegt das Porenvolumen und damit die Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, selbst auf kleinstem Raum großen Schwankungen. Außerdem verarmt der Boden innerhalb der Wurzelhorizonte auch in langen Trockenzeiten nicht gleichmäßig (GLIEMEROTH 1952). Um einen Anhaltspunkt für das Maß der erreichbaren Genauigkeit zu erhalten, wurde eine Blindprobenmeßreihe auf der Wiese Weilheim derart durchgeführt, daß an jeder Entnahmestelle zwei spatenbreit auseinanderliegende Proben entnommen wurden. Die 18 Probenpaare je Horizont wiesen folgende Differenzen auf (in Vol. %) :

	Maximum	Mittel
5 cm	3,1	1,4
15 cm	3,2	1,3

Bildet man analog dem hier bei der Auswertung angewandten Verfahren aus je drei Messungen die Mittelwerte, so ergeben sich noch folgende Differenzen (in Vol. %) :

	Maximum	Mittel
5 cm	1,6	1,o
15 cm	1,2	o,7

Mittlere Feuchtigkeitsdifferenzen um 1 Vol.% sind nach VILKNER 1952 und A.v. MÜLLER 1956 als normal zu betrachten. KNAP u. andere 1952 fanden sogar noch weit höhere Werte.

Die Beschränkung auf die zwei Entnahmehorizonte bei 5 cm und 15 cm erscheint vertretbar, denn einmal wird damit der Hauptwurzelbereich erfaßt, und zum anderen "drücken die Verhältnisse in der Krume dem Verlauf des für eine ganze Bodenschicht von 5o oder 1oo cm Dicke summierten Wassergehalts den Stempel auf" (UHLIG 1954b). Die Methode, zur Probenentnahme Gläser zu benutzen, kann

ht uneingeschränkt empfohlen werden. Während es bei dem meligen Wiesenboden des Neckartals keine Schwierigkeiten ht, die Gläser entsprechend der natürlichen Lagerung zu len, war dies bei dem sommerlich ausgetrockneten, harten mboden der Alb schwierig. Da es sich aber in erster Linie Vergleichswerte zwischen Freiland und Windschutz handelt, nte dieser Nachteil in Kauf genommen werden. Die Angabe Bodenfeuchte in Vol.% ist für ökologische Zwecke der- igen in Gewichts % vorzuziehen (HIELSCHER 1938, BAUMANN 2, LAATSCH 1957 u.a.). Eine eingehende Erörterung, auch eventuellen Nachteile, findet sich bei A.v. MÜLLER 1956.

mittlere Schutzwirkung eines Jahres.

In Kirchentellinsfurt wurden insgesamt 25, in Weilheim 23 auf Schömberg 19 Meßreihen durchgeführt. Mit Ausnahme des ruar wurden die Messungen auch im Winter vorgenommen, für Schömberg fehlt außerdem eine Meßreihe für Ende Januar. jedem Feld entfallen fünf Meßreihen auf Untersuchungen e Zaun. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Schutzwirkung den alle übrigen Versuchsreihen verwertet. Die große Zahl zur Mittelbildung verwendeten Einzelergebnisse macht die haltenen Bodenfeuchtewerte von bestimmten Wetterlagen und fälligkeiten weitgehend unabhängig, sie können daher als räsentatives Jahresmittel angesehen werden. In Weilheim l auf dem Schömberg umfassen die Untersuchungen mit Zaun nau ein Jahr (vom zweiten Schnitt 1958 bis zum zweiten Schnitt 59), in Kirchentellinsfurt etwas mehr, da dort der Zaun schon ch dem ersten Schnitt 1958 aufgestellt wurde.

Die Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen ohne Zaun wurden reits bei der ökologischen Kennzeichnung der Wiesen zum Ver- eich mit dem Gruppenteil der Feuchte- und Trockenzeiger rangezogen. Diese Messungen waren aber vor allem deswegen twendig, um gesicherte Aussagen über die Änderungen der denfeuchte durch den Windschutz zu gewinnen. Dies wird be- gt durch den Vergleich der Bodenfeuchtekurven mit und ohne un (Abb. 74-76). In allen Fällen ergibt sich erst aus der fferenz dieser Kurven der tatsächliche Einfluß des Schutz- unes. Besonders deutlich zeigen dies die Verhältnisse in cm Tiefe in Weilheim (Abb. 75).

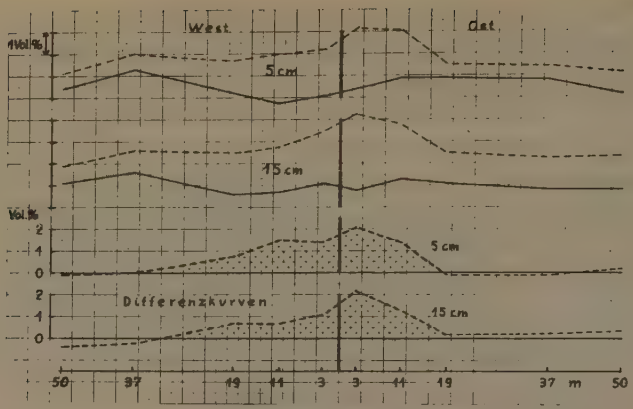


Abb. 74 Die mittlere Bodenfeuchteverteilung eines Jahres in Kirchentellinsfurt. 5 Meßreihen ohne Zaun ——— , 2o Meßreihen mit Zaun -----

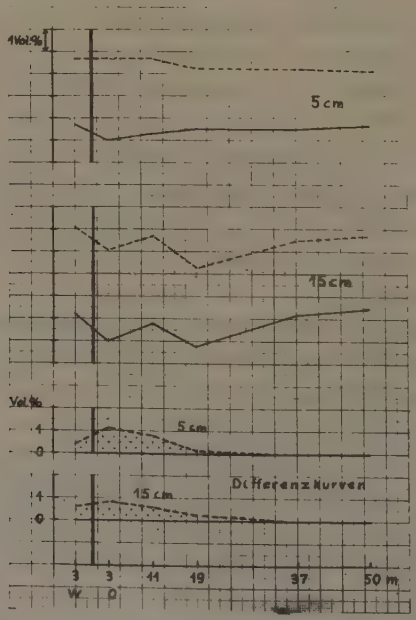


Abb. 75 Die mittlere Bodenfeuchteverteilung eines Jahres in Weilheim. 5 Meßreihen ohne Zaun ———, 18 Meßreihen mit Zaun -----

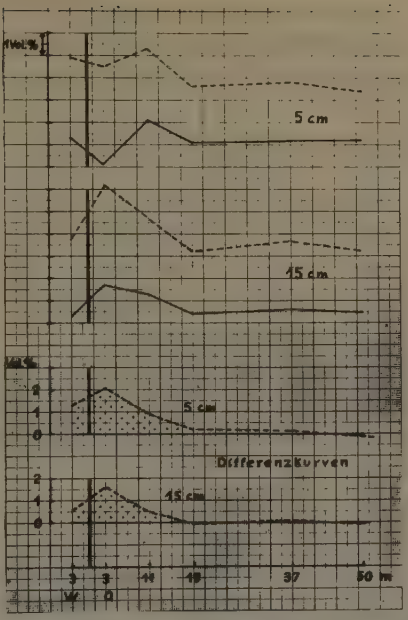


Abb. 76 Die mittlere Bodenfeuchteverteilung eines Jahres auf dem Schömberg. 5 Meßreihen ohne Zaun ————, 14 Meßreihen mit Zaun --------

ür die mittlere Schutzwirkung ergibt sich aus den Abbildungen olgendes:

.) Die Erhöhung bleibt in mäßigen Grenzen. In Kirchentellinsurt und auf dem Schömberg werden 2 Vol.% erreicht, in Weilheim ur 1 Vol.%. Sie ist am stärksten 3m östlich des Zaunes. Mit unehmender Entfernung fällt sie rasch ab, bei 19 m ist sie ur noch im Ausnahmefall (Kirchentellinsfurt Westseite) festtellbar.

.) Die 5 cm und 15 cm-Kurven laufen im allgemeinen parallel. m oberen Horizont ist die Erhöhung stärker als im unteren. Als ichtzahl kann gelten, daß sie bei 15 cm etwa zwei Drittel der on 5 cm beträgt.

.) Der Kurvenverlauf in Kirchentellinsfurt zeigt, daß es berechtigt ist, auch die östlichen Winde zu berücksichtigen. Die chutzwirkung ist westlich des Zaunes fast ebenso groß wie

östlich. Die deutliche Erhöhung auch noch bei 19 m westlich mag allerdings auf die besonderen Verhältnisse des Sommers 1959 mit viel trockenen Ostwinden zurückzuführen sein.

Schutzwirkung und Jahresgang der Bodenfeuchte.

Eine genaue Analyse des Jahresganges ist mit dreiwöchigen Messungen nicht möglich, da die Bodenfeuchtewerte nicht die durchschnittliche Witterung der voraufgegangenen drei Wochen wiedergeben, sondern die Wetterlagen umso weniger wiederspiegeln, je weiter sie zurückliegen. Gewisse Zusammenhänge zwischen Schutzwirkung und Jahreszeit können aber trotzdem abgeleitet werden. Von Interesse ist ferner, daß auch aus der Bodenfeuchtedifferenz zwischen 5 und 15 cm Rückschlüsse auf die Schutzwirkung möglich sind.

Die Abb. 77 veranschaulicht diese Zusammenhänge. Um die hierverwendeten Werte besser gegen Zufälligkeiten zu sichern, wurdesie nicht aus drei, sondern aus sechs Einzelmessungen gemittelt.Zum Freiland wurden auch die Ergebnisse des Meßstelle bei 37 m hinzugerechnet - ein Verfahren, was angesichts der Jahresmittelkurven statthaft erscheint - und bei der Erhöhung im Windschutzdie mittlere Erhöhung in 5 und 15 cm (bei 3m Lee)' dargestellt. Als Beispiel wird der Ostteil des Versuchsfeldes Kirchentellinsfurt gewählt, da hier der ohne Zaun gemessene Bodenfeuchteunterschied zwischen Freiland und Windschutz unbedeutend ist.

Im Winter ist der Boden in der Regel mit Wasser gesättigt, d.h. bis zur Feldkapazität oder darüber aufgefüllt. Die Feuchtedifferenz zwischen 5 cm und 15 cm entspricht der hier in erster Linie durch den Humusgehalt regulierten Wasserhaltefähigkeit desbetreffenden Bodenhorizonte. Die Erhöhung im Windschutz ist nurminimal. Im Sommer wird entsprechend der Wurzelverbreitung das Wasser des oberen Bodenhorizontes stärker beansprucht; die Feuchtedifferenz zwischen 5 cm und 15 cm sinkt und nimmt in Trockenperioden sogar negative Werte an. Die Erhöhung im Windschutz ist größer, denn durch den höheren Verdunstungsanspruch der Atmosphäre wirkt sich die Windabschwächung stärker aus. Ein Vergleich des Sommer- und Winterhalbjahres ergibt folgende

telwerte (in Vol.%):

	Winter	Sommer
Differenz 5cm - 15cm	+ 6,2	+ o,9
Erh. i. Windsch.	+ o,5	+ 2,7

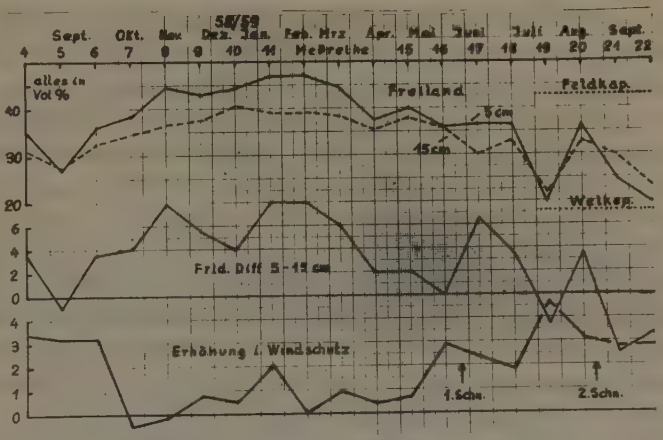


Abb. 77 Jahresgang der Bodenfeuchte im Freiland, der Differenz 5 - 15 cm (Freiland) und der Erhöhung im Windschutz in Kirchentellinsfurt.

Berdem wird deutlich, daß der erste Schnitt weit weniger vom ndschutz profitiert als der zweite.

utzwirkung und Witterung.

Die gewonnenen Zusammenhänge - die mehr ein zeitliches beneinander denn eine ursächliche Verknüpfung darstellen - nnen durch vergleichende Betrachtung des Wetterablaufs und r Schutzwirkung vertieft werden. Allerdings gilt auch hier nächst, daß eine zeitlich durchgehende Analyse wegen des oßen Abstandes der Meßreihen nicht möglich ist. Es wurde rsucht, die Ergebnisse der dreitägigen Bodenfeuchtemessungen

der Agrarmeteorologischen Station Stuttgart - Hohenheim[1] in die Betrachtung mit einzubeziehen, doch ergab sich, daß die durch die Entfernung bedingten Witterungsunterschiede dieses Unterfangen weitgehend fraglich machen.

Etwas mehr Aussicht auf Erfolg bietet die Bearbeitung der Zusammenhänge zwischen der Schutzwirkung und den Witterungsbedingungen der der Bodenfeuchtemessung voraufgehenden drei bis fünf Tage. Die Analyse gestaltet sich aber durch die vielfältigen Kombinationen der Witterungsfaktoren derart umfangreich, daß dadurch der Rahmen dieser Arbeit überschritten würde. Auch bleibt zu erwägen, ob solche Untersuchungen nicht grundsätzlich mit auf dem Versuchsfeld aufgestellten registrierenden Geräten durchgeführt werden sollten.

Da die Zusammenhänge mit der Witterung aber ein Hauptproblem des Windschutzes darstellen, wird trotz der geringen Auswertungsmöglichkeit der Gang der wichtigsten Klimaelemente für die Vegetationsperiode 1959 wiedergegeben (Abb. 78). Auch im Hinblick auf die Ertragsverhältnisse ist es wertvoll, den Witterungsablauf genau verfolgen zu können. Die Klimawerte wurden den Protokollen der meteorologischen Station Tübingen entnommen, sie stellen Tagesmittelwerte dar. (Die im Kapitel über die Windverhältnisse empfohlene Beschränkung auf die Mittagswerte wurde bei dieser Übersicht nicht angewendet).

Hinweise, wie die Witterung die Schutzwirkung des Zaunes beeinflußt, geben zunächst die zwei letzten Meßreihen im September 1959. Am 22. August begann eine lange, hier nicht bis zum Ende erfaßte Trockenperiode. Ausgehend von der Vorstellung des ständig herrschenden hohen Verdunstungsanspruchs der Atmosphäre könnte man der Annahme sein, der Windschutz wirke sich mit zunehmender Trockenzeit stärker aus, d.h. die Schutzwirkung der einzelnen Tage summiere sich solange, bis ein Niederschlag den Boden wieder gleichmäßig durchfeuchtet. Die Meßreihen im September ergaben aber nur mäßige Erhöhungen im Windschutz. Sie waren nur halb so groß wie bei der Meßreihe 19 im Juli und erreichten nicht einmal die Werte des niederschlagreichen September des Vorjahres. Andererseits zeigen Messungen kurz nach starken Regenfällen, z.B. die Meßreihen 16 und 2o, größere Erhöhungen.

---

1) Für die Überlassung der Werte sei Herrn Dr. King herzlich gedankt.

Diese und andere, hier im einzelnen nicht angeführte Hinweise ergeben, daß die Erhöhung der Bodenfeuchte im Windschutz nur dann groß wird, wenn - neben Wind und guten Verdunstungsbedingungen - leicht verdunstbares Wasser im Boden vorhanden ist. Mit zunehmender Austrocknung wird das Wasser vom Boden stärker zurückgehalten, und die im Freiland und Windschutz unterschiedlichen Verdunstungsbedingungen können nur kleine Bodenfeuchtedifferenzen hervorrufen. Bei heiterem, windigem Sommerwetter gilt also, daß die Bodenfeuchtedifferenz nach einem kräftigen, den Boden gleichmäßig sättigenden Niederschlag relativ schnell zu einem Maximalwert ansteigt, um bei längerer Trockenperiode langsam aber stetig abzufallen. Im Winter ist der Verdunstungsanspruch der Luft und der Wasserverbrauch der Vegetation so gering, daß selbst bei langanhaltenden und starken Winden keine großen Bodenfeuchtedifferenzen zwischen Freiland und Windschutz auftreten.

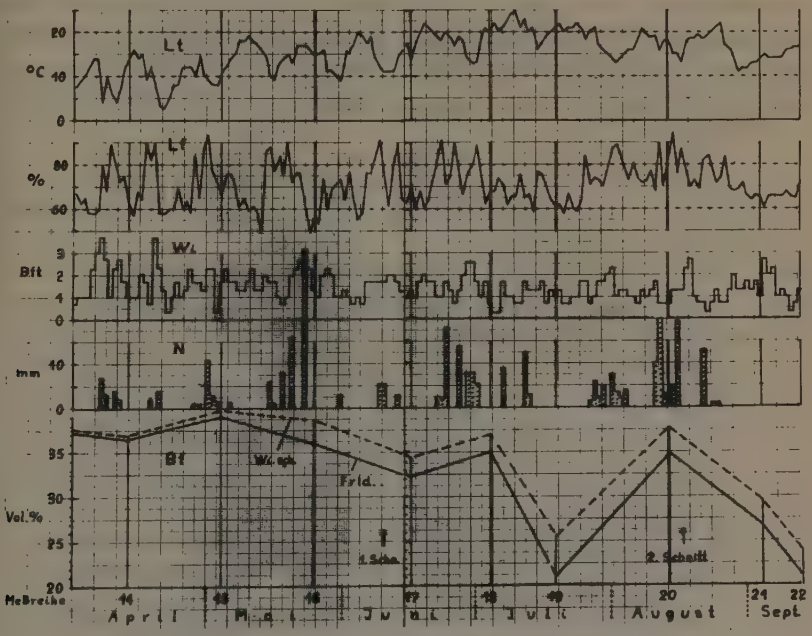


Abb. 78 Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Niederschlag und Bodenfeuchte in Kirchentellinsfurt während der Vegetationsperiode 1959.

Die größte Bodenfeuchteerhöhung wurde bei der Meßreihe 19 (Abb. 79) ermittelt. In Weilheim betrug sie etwa 4 Vol.%, in Kirchentellinsfurt sogar 5 Vol.%. Damit dürfte das für die Versuchsflächen maximal mögliche Ausmaß erreicht worden sein. Die Witterungsbedingungen waren: sechs Tage vorher 15 mm Regen, danach hohe Lufttemperatur, niedrige Luftfeuchte und schwache östliche Winde, die zum Teil recht schräg auf den Zaun trafen.

Die vorhin festgestellte Regel, daß die Kurven der Bodenfeuchtedifferenz zwischen 5 und 15 cm und der Erhöhung im Windschutz gegenläufig sind, bedarf einer Ergänzung. Sie gilt nur bis zu einem bestimmten Austrocknungsgrad. Danach sinkt zwar die Differenz weiter, bzw. der Boden wird gar bei 15 cm feuchter als bei 5 cm, die Erhöhung im Windschutz aber nimmt, wie oben erörtert, auch ab; die Kurven laufen also parallel. Hält jedoch die Trockenzeit sehr lange an, so wird der Feuchtegehalt bei 5 cm so gering, daß schließlich der 15 cm-Schicht mehr Wasser entzogen wird und die Kurven wieder gegenläufig werden. Diese Zusammenhänge werden durch das Schema der Abb. 80 anschaulich gemacht. Aus dem wechselnden Verhältnis der Kurvenverläufe zueinander ergeben sich mehrere Phasen des zeitlichen Ablaufes.

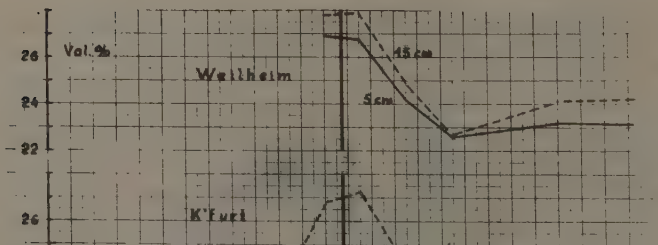


Abb. 79 Maximale Bodenfeuchteerhöhung. Meßreihe 19 (19. Juli 1959) in Weilheim und Kirchentellinsfurt.

.e Frage, am wievielten Trockentag die maximale Erhöhung auf-
:itt, kann nicht generell beantwortet werden. Es ist aber un-
ahrscheinlich, daß die Schutzwirkung, wie KREUTZ 1938 schreibt,
:reits am ersten Tag einer Trockenperiode maximal ist. Nach
:n erhaltenen Ergebnissen kommt etwa der 3. bis 6. Tag in
:age.

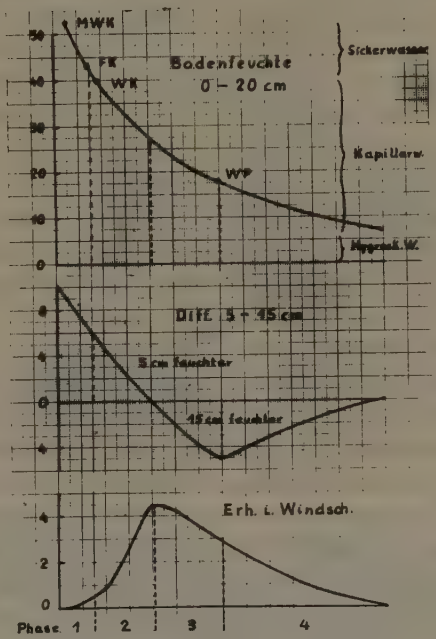


Abb. 80 Schema der Beziehungen zwischen der Bodenfeuchte im Freiland, ihrer Differenz zwischen 5 cm und 15 cm und der Bodenfeuchteerhöhung im Windschutz im Verlauf einer langen Trockenperiode. Alle Angaben in Vol.%.
MWK Maximale Wasserkapazität.
FK Feldkapazität.
WK Wasserkapazität.
WP (reversibler) Welkepunkt.

Die Bodenfeuchteverhältnisse in Zaunnähe.

Die Meßreihe 21 wurde auf allen Versuchsfeldern durch zahlreiche Feuchtebestimmungen in Nähe des Zaunes ergänzt. Die Ergebnisse sind in den Abb. 81 - 83 wiedergegeben. Sie zeigen, wie stark die Zäune als Regenfänger wirken. Sogar noch nach 12 niederschlagsfreien Tagen wie bei dieser Meßreihe ist der Boden unmittelbar unter dem Zaun trockener als im Freiland. Da der Regen meist nicht senkrecht fällt, erstreckt sich die trockene Zone zu beiden Seiten des Zaunes auf eine Breite von je einem Meter. Im allgemeinen verlaufen die Kurven recht schwankend und zeigen damit noch einmal die auf kleinem Raum stark wechselnden Bodenfeuchteverhältnisse.

Auf dem Schömberg ist die Trockenzone nur wenig ausgeprägt. Überraschend sind aber die außerordentlich hohen Werte 1m westlich des Zaunes. Die Erklärung dürfte einmal in der Schattenwirkung zu suchen sein - der Zaun erstreckt sich von SW nach O, zum anderen trafen die zu dieser Zeit herrschenden östlichen Winde häufig sehr schräg auf den Zaun, und die Zone maximaler Schutzwirkung rückt damit näher an den Zaun heran - vor allem deswegen, weil der Zaun für den Wind dann praktisch undurchlässig wird. Auf diesem tonigen, flachgründigen Boden können also Feuchtigkeitsunterschiede von 12 Vol.% durch den Windschutzzaun hervorgerufen werden. Das ist ein wichtiger Hinweis zur Erklärung der sehr großen, aber auf einen schmalen Streifen beiderseits des Zaunes beschränkten Ertragserhöhungen.

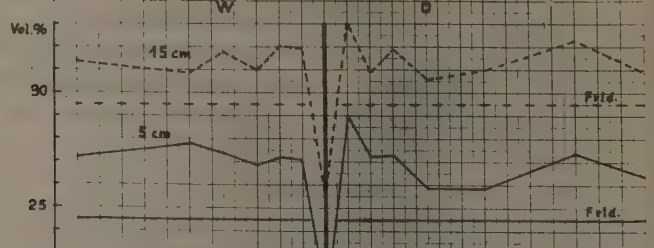


Abb. 81 Die Bodenfeuchte in Zaunnähe in Kirchentellinsfurt. (Meßreihe 21).

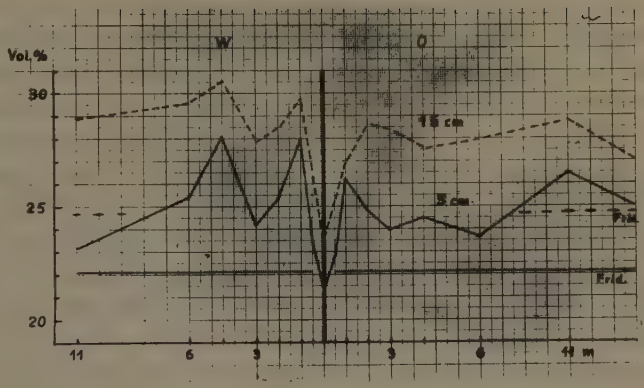


Abb. 82 Die Bodenfeuchte in Zaunnähe in Weilheim (Meßreihe 21)

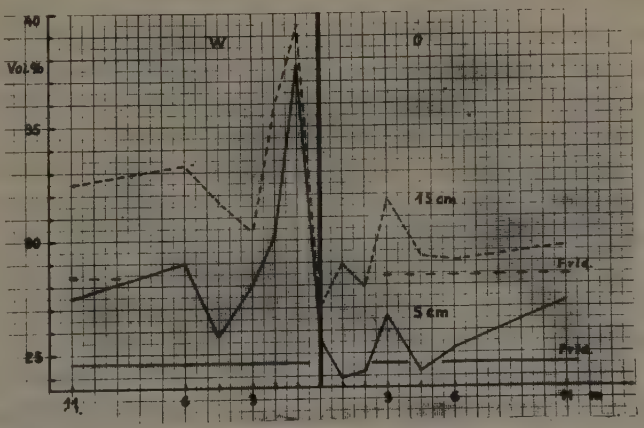


Abb. 83 Die Bodenfeuchte in Zaunnähe auf dem Schömberg (Meßreihe 21)

Diskussion.

Im Verhältnis zum großen Zeit- und Arbeitsaufwand ist die Ausbeute an Ergebnissen nicht befriedigend. Zum großen Teil läßt sich dies auf die Anlage der Untersuchungen zurückführen. Ein Hauptmangel liegt in dem dreiwöchigen Abstand der Messungen. Es ist zweckmäßiger, die Untersuchungen auf wichtige Zeitabschnitte wie die des Schossens der Gräser oder einer Trockenperiode zu konzentrieren und mit Messungen in möglichst kurzem Abstand einen kontinuierlichen Gang des Bodenfeuchtegehaltes zu ermitteln. Weiterhin ist ratsam, die zu verarbeitenden Werte aus mehr als drei Einzelmessungen zu gewinnen. Wenn mittlere Streuungen von 1 Vol% auch im allgemeinen bei Wassergehaltsbestimmungen in Kauf genommen werden können, so sind sie für Windschutzuntersuchungen doch zu hoch, denn die Unterschiede gegenüber dem Freiland betragen oft nur ein oder wenig Vol.%. Dieser Umstand ist wahrscheinlich auch mit eine Ursache dafür, daß bei manchen Versuchen kein Einfluß des Schutzstreifens auf die Bodenfeuchte festgestellt werden konnte.

Die meisten Windschutzuntersuchungen ergaben, daß sich der Wassergehalt im Schutzbereich deutlich erhöht. Ausnahmen stellen z.B. die Untersuchungen von v. EIMERN 1954 bei Hamburg und von KUTERA 1956 im Bezirk Posen dar. V. EIMERN führt seine Ergebnisse auf hohe Luftfeuchte und häufigen Niederschlag zurück. Bei KUTERA war die Bodenfeuchte bis zu 1 H sogar niedriger, wahrscheinlich als Auswirkung des Regenschattens und durch den Wasserentzug der Wurzeln der als Schutz verwendeten Robinien. Die Versuche auf der Schwäbischen Alb von Th. MÜLLER 1956 ergaben eine beträchtliche Erhöhung, etwa bis zu 7 H reichend und bis über 2o % (Freiland gleich 1oo) bei 1-2 H ansteigend. Die vergleichbaren Ergebnisse aus anderen Gebieten Deutschlands bleiben dahinter zurück.

Einen Versuch zur Analyse der Beziehungen zwischen Witterung und Bodenwassergehalt im Windschutz hat BRASSE 1954 unternommen. Bei seinen Untersuchungen auf vegetationsfreiem Boden zeigt sich im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen ein großer Unterschied zwischen dem Verhalten der obersten Bodenschicht (o bis 5 cm) und den darunterliegenden. In den letzteren war

der Boden im Windschutz dauernd feuchter, in den oberen jedoch nur wenige Tage nach einem Niederschlag, und zwar bei kaltem und strahlungsschwachem Wetter sechs und mehr Tage, bei warmem und strahlungsreichem Wetter nur drei Tage. In Dürreperioden trocknete die oberste Bodenschicht im Windschutz infolge der Temperaturerhöhung sogar stärker als im Freiland aus.

Ökologische Bedeutung.

Entsprechend der grundlegenden Bedeutung des Bodenwassers für die Pflanze ist dieses Gebiet schon früh Gegenstand ausführlicher Untersuchungen geworden. Grundsätzliche Arbeiten stammen von GRADMANN 1928 und 1929, SEKERA 1931-1951 sowie von FRECKMANN und BAUMANN 1936 und 1938. Die Zusammenhänge zwischen Wasserversorgung und Pflanzenertrag behandeln u.a. MITSCHERLICH 1947 und BAUMANN 1951. Gefäßversuche über die Aufnahme und Verwertung des Bodenwassers führten FILZER 1939 und BOGUSLAWSKI 1941 durch. In neuerer Zeit folgten Untersuchungen, die sich auf bestimmte Kulturpflanzen oder Pflanzengesellschaften beziehen, wie z.B. ZILLMANN 1957 und BORNKAMM 1958. Alle Fragen des Wasserhaushalts hingegen behandelt das umfassende Werk von KALLWEIT 1953.

Es können hier nicht alle Aspekte berücksichtigt werden, die sich aus der Erhöhung der Bodenfeuchte im Windschutz ergeben. Auf die in diesem Zusammenhang grundlegende Frage soll jedoch eingegangen werden : In welchem Verhältnis steht die gefundene Erhöhung der Feuchtigkeit zur nutzbaren Wasserkapazität und zu dem jeweiligen nutzbaren Wassergehalt des Bodens ? Unter nutzbarer Wasserkapazität (NWK) wird hier in Anlehnung an BAUMANN 1952 die Wassermenge verstanden, die sich aus der Differenz zwischen dem Höchstwert, gemessen im Frühjahr nach Abzug des Hauptanteils des Sickerwassers, und dem Gehalt bei deutlichen Welkeerscheinungen, dem Welkepunkt (WP) ergibt. Der Höchstwert entspricht der Feldkapazität (FK) im Sinne von LAATSCH 1957. Eine Reihe von Begriffen sind der NWK inhaltlich ähnlich, wie z.B. "physiologisch wirksames Wasser" (MITSCHERLICH 1954), "pflanzenverfügbares Wasser" (SCHEFFER-

SCHACHTSCHABEL 1952), "nutzbare Bodenfeuchte" (BAIER 1952) und "verwertbares Wasser"(RICHARD 1953). Auf sie soll hier nicht näher eingegangen werden.

Im Rahmen des Deutschen Wetterdienstes werden seit 1948 regelmäßige Bodenfeuchtemessungen nach einheitlicher Methode durchgeführt (UHLIG 1954a, 1956 und 1957), und es lag nahe, sich der dort gebräuchlichen Terminologie anzuschließen. Der verwendete Ausdruck "maximal ausschöpfbarer Bodenfeuchtegehalt" ist aber schlecht gewählt bzw. definiert. Er bedeutet die Differenz zwischen dem auf einer Parzelle regelmäßig im Frühjahr vorhandenen Höchstwert und dem in trockenen Sommern erreichten Tiefstwert (UHLIG 1956). Nun schreibt aber UHLIG 1954a (S. 209) : "Die Differenz von rund 20 mm zwischen dem unbewachsenen Boden und dem Rasen ist darauf zurückzuführen, daß der Boden im Sommer in den wurzelbewachsenen Schichten des Rasens stärker ausgesaugt wird, so daß hier - bei gleichem Höchstwert - der Tiefstwert für die Berechnung des maximal ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehalts kleiner wird. Insgesamt ergibt das also eine größere Menge ausnutzbaren Wassers für den Rasen". Danach hat also derselbe Boden, je nachdem ob er unbewachsen oder bewachsen ist, einen verschiedenen maximal ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehalt. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Definition für ökologische Untersuchungen wenig zweckmäßig ist, denn der Begriff "ausschöpfbar" sollte nur als durch die Pflanzen ausschöpfbar verstanden werden. Der Tiefstwert der vegetationslosen Fläche ist im obigen Beispiel dann nicht die Grenze des ausschöpfbaren Wassergehalts, die Differenz zum Höchstwert mithin auch nicht der maximal ausschöpfbare Bodenfeuchtegehalt. Zur Methodik der Festlegung der Grenzwerte bei UHLIG äußert sich auch PFAU 1958 kritisch. Es ist deshalb zu begrüßen, wenn, wie RETTIG 1958 mitteilt, auch im Deutschen Wetterdienst die Einführung der nutzbaren Wasserkapazität als Bezugsgröße angestrebt wird.

Die Grenzwerte der NWK festzulegen, ist außerordentlich schwierig. Statt der Feldkapazität, die wissenschaftlich nicht exakt definiert werden kann, wurde früher vielfach die Wasser-

azität verwendet, d.h. die Haftwassermenge, die der Boden
en die Schwerkraft zurückhalten kann (maximale Wasserkapa-
ät minus Sickerwasser). Auf ihre Bestimmung wurde hier ver-
htet, da einerseits der langsam abziehende, durch Kapillar-
fte gebremste Anteil des Sickerwassers von den Pflanzen
tgehend genutzt werden kann (LAATSCH 1957), andererseits die
timmungen mittels Labormethoden alle sehr zweifelhaft sind
ECKMANN und BAUMANN 1936, GLIEMEROTH 1943 u.a.).
Als noch problematischer erweist sich der Welkepunkt :

Das Welken ist abhängig vom Verdunstungsanspruch der Luft.
SCHERLICH 1947 berichtet z.B., daß bei trockenem, windigem
ter Welkeerscheinungen schon bei dreifacher Hygroskopizität,
feuchtem, windstillem Wetter dagegen erst bei etwas mehr
einfacher Hygroskopizität eintraten. (Hygroskopizität nach
SCHERLICH = Wassermenge, die getrockneter Boden über 10%iger
wefelsäure im Exsikkator anlagert).

Die Pflanzenarten haben entsprechend dem Grad ihrer An-
sung an die Trockenheit und der Ausbildung ihres Wurzelsystems
en unterschiedlichen Welkepunkt. Die mehr hygrophytische oder
ophytische Konstitution wird auch von der Wasserversorgung
Frühjahr beeinflußt (BAUMANN 1949). Der Wasserbedarf ist
ließlich auch noch von der Menge der gelösten Nährstoffe ab-
gig (MITSCHERLICH 1947).

Es ist ein reversibler Welkepunkt von einem permanenten
kepunkt zu unterscheiden. Letzterer ist nach RICHARD 1953
der Pflanzenart weitgehend unabhängig.

Die praktische Bestimmung des Welkepunktes wird dadurch er-
wert, daß der Boden diesen Tiefstwert in manchen Jahren
rhaupt nicht erreicht. Manche Forscher, wie FRECKMANN und
MANN 1936 benutzen deshalb den geringsten Wassergehalt nach
ner Trockenperiode, möglichst zur Zeit der größten Wurzel-
ge, und bezeichnen ihn als Verarmungsgrenze. Im Verlauf der
genen Untersuchungen, nämlich während der spätsommerlichen
ckenperiode 1959 zeigten jedoch die Wiesenpflanzen deutliche
keerscheinungen, so daß der dabei gemessene Feuchtegehalt
unterer Grenzwert zur Bestimmung der NWK verwendet werden

konnte. Auf den Versuchsfeldern wurden folgende Werte gemessen (in Vol.%) :

	5 cm			15 cm			mittlere
	FK	WP	NWK	FK	WP	NWK	NWK
K.'furt	47	17	3o	39	19	2o	25
Weilheim	44	17	27	37	18	19	23
Schömberg	49	22	27	44	25	19	23

Die Feldkapazität ist auf Wiesen wegen des besonders großen Porenvolumens ihrer Böden allgemein recht hoch (Vergleichswerte z.B. bei LAATSCH 1957). Die bei 5 cm für den Welkepunkt angegebenen Zahlen können eventuell schon etwas unter dem wahren Welkepunkt liegen, da die oberste Bodenschicht durch die direkte Verdunstung stärker austrocken kann als durch den Wasserentzug der Pflanzenwurzeln möglich ist (ANDRIANOFF 1928).

Zur weiteren Beurteilung der ökologischen Bedeutung der Erhöhung der Bodenfeuchte im Windschutz führen drei Überlegungen.
1.) Eine Verminderung der Bodenfeuchtigkeit von z.B. 1o auf 5 % der NWK ist für die Pflanze wesentlich schwerwiegender als eine solche von 2o auf 15 %. Das Wachstum der Pflanzen wird nicht erst beim Erreichen des Welkepunktes beeinträchtigt, sondern schon weit vorher, etwa bei einer Saugspannung des Bodens von 1 At. an. Für den Welkepunkt unserer Kulturpflanzen werden entsprechend der Saugspannung ihrer Wurzeln Werte um 15 At angegeben. Es gibt also ein breites Grenzgebiet eines ökologisch kritischen Bodenfeuchtegehaltes. Auf diesen Tatbestand hat bereits BACHMANN 1924 hingewiesen, er ist aber erst in neuerer Zeit wiederentdeckt worden (vergl. LAATSCH 1957 S. 174).
2.) Die Angabe des Nominalwertes der Bodenfeuchteerhöhung im Windschutz hat also einen nur geringen Wert. Man muß berücksichtigen, in welchem Verhältnis die Erhöhung zum "aktuell nutzbaren Wassergehalt" (ANW) steht. Letzteren erhält man durch Subtraktion des Welkepunktwertes vom jeweiligen Bodenfeuchtegehalt. An drei Beispielen aus den Messungen in Kirchentellinsfurt sei dies erläutert (Mittelwerte aus 5 und 15 cm) :

Meßreihe	Bodenf.i.Frld. Vol.%	A N W Vol.%	Erhöhung im Windschutz Nominalwert Vol.%	in % d. ANW
6(25.5.59)	36	18	2,9	16
1(4.9.59)	27	9	2,8	31
2(13.9.59)	21	3	2,8	93

iese Prozentzahlen dürften der jeweiligen ökologischen Sitution weitgehend gerecht werden. Während im Mai die Erhöhung er Bodenfeuchte kaum ins Gewicht fällt, wird die gleiche ominelle Erhöhung im September außerordentlich bedeutsam. Da ine Hauptfunktion des Windschutzes in der Verbesserung des asserhaushaltes liegt, ist diese Betrachtungsweise ein Schlüsel zum Verständnis für die starke Witterungsabhängigkeit der irksamkeit des Windschutzes.

.) Es muß die Reaktion der zu schützenden Pflanzenart oder flanzengesellschaft auf eine Erhöhung der Bodenfeuchte sowie er Jahresgang ihres Wasserbedarfs in die Betrachtung miteinbeogen werden. Bei Bewässerungsversuchen ergab sich, daß z.B. ei Winterroggen kaum ein höherer Ertrag zu erzielen ist, ährend Hackfrüchte dafür sehr dankbar sind (BAUMANN 1951). er Transpirationskoeffizient (Wasserverbrauch je Einheit rockensubstanz) läßt sich nicht zur Beurteilung heranziehen; r ist z.B. bei Getreide hoch, bei Hackfrucht klein. Für den asserbedarf ist in Abb. 84 eine Jahreskurve für Wiesen wiedergegeben. Eine genaue Ermittlung ist jedoch schwierig, da der asserverbrauch auch von den zur Verfügung stehenden Wassermengen abhängig ist. Eine eingehende Arbeit hierzu lieferte ROUWER 1930b.

Die Wirkung der Bodenfeuchteerhöhung im Windschutz ist in en Böden groß, die in Trockenzeiten schnell bis zum Welkepunkt ustrocknen. Wertvolle Hinweise zur Beurteilung dieser Austrocknungszeit gibt die Bestimmung des Wurzeltiefganges und amit der "nutzbaren Regenkapazität" (NWK x Wurzeltiefgang). ach dem Beispiel von BUCHWALD 1954 und 1958 läßt sich daraus er für die Vegetation nutzbar speicherbare Anteil des Winteriederschlags sowie eine mittlere Aufbrauchzeit berechnen.

Die Wurzelverbreitung der Gräser wurde im Abschnitt über den Boden behandelt. Sie ist stark von der Nutzungsweise und der Bodenstruktur abhängig (KÖHNEKAMP 1934, KLAPP 1943). Deutliche Unterschiede der nutzbaren Regenkapazität zeigten sich in Kirchentellinsfurt während der Trockenperiode 1959. An den Stellen, wo eine hochgelegene Kiesschicht die normale Ausdehnung des Wurzelsystems verhinderte, begann das Welken bis zu einer Woche früher. Es wäre allerdings falsch, diesen Vergleich auch auf andere Bodenarten mit anderer Vegetation auszudehnen. Man könnte annehmen, daß der Welkepunkt in der nur 2o cm mächtigen Bodenschicht auf dem Schömberg besonders schnell eintritt. Das ist jedoch nicht der Fall. Der aktuell nutzbare Wassergehalt lag sogar häufig über dem der Neckartalwiesen. Die dort stockende Pflanzengesellschaft reagiert zwar stark auf eine Erhöhung des Wassergehaltes, ist aber andererseits in ihrem Wasserbedarf gut an den Standort angepaßt. Die Welkeerscheinungen waren weniger auffallend als im Neckartal.

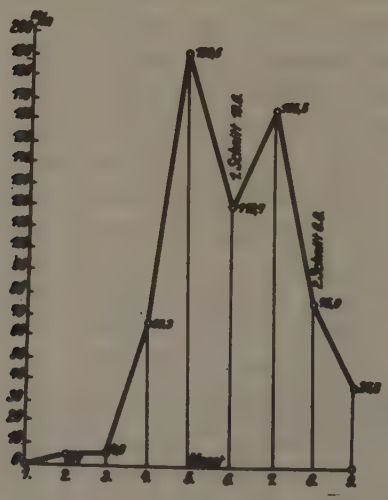


Abb. 84 Der Wasserverbrauch der Wiesen bei zweimaligem Schnitt. Nach FRECKMANN aus KLAPP 1954.

Ber durch die geringere Verdunstung kann die Bodenfeuchte
Windschutz noch durch zwei weitere Faktoren beeinflußt
rden, die hier ergänzend erwähnt werden sollen. Mit der
strocknung des Bodens steigt sein Benetzungswiderstand,
i die Wasserhaltefähigkeit nimmt damit ab. Ist der Boden
Windschutz feuchter als im Freiland, so behält er allein
durch mehr Wasser zurück. Im allgemeinen wird jedoch die
ieutung dieser Erscheinung entsprechend den kleinen Boden-
chteunterschieden gering sein. Auf tonreichen Böden kann
e unterschiedliche Austrocknung dazu führen, daß sich im
eiland größere Trockenrisse ausbilden als im Windschutz.
es war z.B. der Fall im trockenen Sommer 1959 auf dem
hömberg, wo der Bestand im Windschutz viel dichter wurde
i dadurch den Boden gegen die direkte Sonnenbestrahlung
hützte. Bei Feuchtigkeitsmessungen nach einem kräftigen
ederschlag ergab sich, daß der Boden in 15 cm Tiefe im
ndschutz viel gleichmäßiger durchfeuchtet war als im Frei-
nd. Es kann also auch auf diese Weise ein Unterschied des
denfeuchtegehaltes zwischen Freiland und Windschutz hervor-
rufen werden.

I E N Ä C H T L I C H E N L U F T T E M P E R A T U R E N

Untersuchungen über die nächtlichen Lufttemperaturen im
ndschutz liegen bisher nur spärlich vor, und die Ergebnisse
nd sehr unterschiedlich. Ist ein kleines Versuchsfeld allseits
n hohen Rohrmattendecken oder Maispflanzen umgeben, so er-
reckt sich der durch sie verursachte Ausstrahlungsschutz auf
oße Teile der Versuchsfläche und die Lufttemperaturen sind
her (KREUTZ 1950). Von ähnlichen Untersuchungen und Ergeb-
ssen (9 x 9 m große Flächen, 1,6 m hohen Schilfrohrwände)
richtet CASPERSON 1957. FUSS 1955 hatte als Windschutz ein
ühbeetfenster senkrecht gestellt und konnte durch eine Spät-
ostauslese eine günstige Temperaturwirkung bis auf eine Ent-
rnung von 4 H feststellen. (Nach den Angaben von GEIGER 1950
icht die Ausstrahlungsverminderung aber nur bis etwa 2 H,

vgl. auch die Taumessungen!) Soweit die Windschutzuntersuchungen an Hecken gemacht wurden, ergab sich in Heckennähe eine höhere Lufttemperatur. Ein anderer Aspekt tritt bei Untersuchungen von BRINGMANN und KAISER 1955 auf : Im Gelände günstig angelegte Schutzstreifen können Kaltlufteinbrüche verzögern und abschwächen, so daß es deshalb nachts im Schutz wärmer ist. Im gleichen Sinne berichten ausführlich KESSLER und KAEMPFERT 1940.

Die oben angeführten Ergebnisse haben wegen ihrer Kleinräumigkeit hauptsächlich für gärtnerische Kulturen Bedeutung. Es muß aber betont werden, daß Rohrmatten, Maispflanzen und Fenster dabei mehr als Ausstrahlungsschutz und evtl. Wärmespeicher denn als Windhindernisse wirksam wurden. Eine breitere Bearbeitung erfuhren die Zusammenhänge zwischen Wind und nächtlicher Lufttemperatur von meteorologischer Seite, z.B. von SIEGEL 1936, KOCH 1937 und FRANKENBERGER 1953/54. Aus ihren Untersuchungen geht hervor, daß die Temperaturen im Windschutz in der Regel niedriger sind.

Allgemeines zur Inversion.

Auf eine Darstellung der meteorologischen Grundlagen des nächtlichen Temperaturaufbaus muß hier verzichtet werden (s. dazu GEIGER 1950). Da aber in der Nacht jede Temperaturänderung im Windschutz zugleich eine Änderung der Inversion bedeutet, soll ein Überblick der Faktoren gegeben werden, die die nächtliche Inversion beeinflussen. Dadurch werden die vorliegenden Untersuchungen in einen größeren Zusammenhang gestellt, und es kann besser beurteilt werden, wieweit die Ergebnisse verallgemeinert werden können.

Der W i n d beeinflußt das nächtliche thermische Gefüge am meisten. Seine Wirksamkeit beruht darauf, daß mit ihm stets ein Massenaustausch verbunden ist. Während am Tage in der Regel der thermische Anteil des Austausches überwiegt, ist es nachts der dynamische. Maximale Inversionsgradienten entstehen nur bei Windstille und schwachen Winden. Nach RINK 1953 herrscht schon bei 4 bis 5 m/sec. Temperaturgleichgewicht. Bei stärkerem Wind tritt sogar ein positiver Gradient auf, d.h. es ist dann am Boden wärmer als in höheren Schichten. Auch die Windrichtung

at einen Einfluß. RINK fand, daß die stärksten Inversionen
ei Winden aus E bis SSE auftraten, die schächsten bei sol-
ien aus NW. Diese Angaben können jedoch orts- und zeitbe-
ingt sein. Wichtiger ist, welche L u f t m a s s e heran-
eführt wird. Die größten Inversionsgradienten stellen sich
ei den stabil geschichteten Warmmassen (bes. m^T) ein.

Als nächst wichtiger Faktor muß die B e w ö l k u n g
nannt werden. Ein Teil der Strahlung wird von den Wolken
eflektiert, ein anderer von ihnen absorbiert und wieder
ittiert. So nimmt der Inversionsgradient mit zunehmender
wölkung schnell ab - sehr viel rascher als der Tagesgradient.
ßgebend ist nicht nur der Grad der Bewölkung, sondern auch
r Zenitwinkel der Wolken. Die Gegenstrahlung des Wasser-
mpfes ist auch die Ursache, daß bei zunehmender L u f t -
e u c h t i g k e i t der Inversionsgradient kleiner wird.
sgleichen wirkt N e b e l gegen eine starke Inversionsaus-
ldung. Es spielt aber auch die Austrahlung auf der Nebel-
erfläche eine Rolle; die sich dort bildende Kaltluft sinkt
und beeinflußt die bodennahe Inversionsschicht.

Weiterhin bestehen Wechselwirkungen zwischen T a u und
fttemperatur. Einerseits ist die Taubildung von der Tempe-
tur des betauten Körpers und damit indirekt auch von der der
f abhängig, andererseits führt die bei der Taukondensation
eiwerdende Wärme zu einer Temperaturerhöhung der Luft. Dieser
rgang vollzieht sich sprunghaft; nach BAUER 1957/58 können
e Temperaturerhöhungen dabei bis 3° betragen und sind auch
ch 2 m über dem Boden nachweisbar. SEEMANN und LÖW 1944
nden etwas geringere Schwankungen. Zusammenfassend kann ge-
gt werden, daß schon geringfügige Änderungen des Wettergeh-
nehens den vertikalen Aufbau der bodennahen Luftschicht er-
blich beeinflussen. (vgl. auch BERGER-LANDEFELDT 1956)

Nach Ergebnissen von BRASSE 1954 wirken sich kleine Unter-
hiede in der B o d e n f e u c h t i g k e i t , wie sie
B. durch Windschutz entstehen, nicht messbar auf die nächt-
che Unterkühlung aus. Bei einem Vergleich von trockenen und
uchten Wiesen dagegen fanden KESSLER und KAEMPFERT 1940 wie
CHEIE 1950, daß letztere sich nachts stärker abkühlen; wahr-
heinlich deshalb, weil tagsüber ein verhältnismäßig größerer

Teil der Sonnenenergie zur Verdunstung des Wassers gebraucht wird und der Boden dadurch weniger Wärme speichern kann. Theoretische Überlegungen ergeben aber, daß die Verhältnisse auch anders liegen können. Die größere Wärmeabsorption und die größere Wärmeleitfähigkeit des nassen Bodens erhöhen nämlich die Wärmespeicherung und die nächtliche Zufuhr an die Bodenoberfläche, sie hemmen also die Ausbildung der Inversion. Es kommt im Einzelfall also sehr auf die Verdunstungsverhältnisse an. Ist bei einer feuchten Wiese der Mehrverbrauch an Verdunstungswärme gegenüber einer trockeneren nur gering, z.B. an einem windstillen und bedeckten Tag, so wäre denkbar, daß die inversionshemmenden Eigenschaften der feuchten Wiese den Ausschlag geben und diese nachts weniger abkühlt.

Ein Beispiel für den Einfluß der B o d e n a r t gibt der Moorboden. Durch den hohen Anteil an organischem Material wird die Wärmeleitfähigkeit auch bei nassem Boden so sehr herabgesetzt, daß der Wärmenachschub gering bleibt und besonders hohe Inversionsbeträge erreicht werden. Geringere Wärmeleitfähigkeit zeigen wegen ihres hohen Luftgehalts auch lockere Böden.

Von den G e l ä n d e f o r m e n beanspruchen die Täler besonderes Interesse. Sie sind in der Regel Kaltluftsammler, und die Inversion wird dann durch advektive Luftmassen verstärkt. Wie von KOCH 1940, FRANKEN 1950 und LEHMANN 1952 festgestellt wurde, spielen auch geringe Geländeunebenheiten eine große Rolle. Es entstehen auch bei vermeintlicher Windstille mikroklimatische Kleinstströmungen, die für horizontale und vertikale Durchmischung der Luft sorgen. Bei schmalen Tälern kommt außerdem der Horizonteinengung Bedeutung zu, da sie als Ausstrahlungsschutz wirksam ist (näheres bei LAUSCHER 1934).

Auch die D i c h t e d e s P f l a n z e n b e s t a n d e s hat Einfluß auf die Inversion. Ist sie gering, so wird der Boden am Tag stark aufgeheizt. Er hat also nachts mehr Speicherwärme zur Verfügung, und die bodennahe Luftschicht wird sich nicht so stark abkühlen. Da feuchte Wiesen meistens einen dichteren Bewuchs aufweisen, werden die oben angeführten Ergebnisse, daß nasse Wiesen sich stärker abkühlen, auch durch die größere Dichte des Bestandes mitzuerklären sein . Eine starke Austrocknung wird sich bei lockerem Bestand allerdings

gegenläufig bemerkbar machen, denn die Wärmeleitfähigkeit sinkt dann und der Boden kann nicht mehr so viel Speicherwärme aufnehmen.

Die starke U n t e r k ü h l u n g d e r W i e s e n wird durch eine Reihe von Umständen verursacht. Erwähnt wurde schon der durch den Bewuchs gebildete Insolationsschutz sowie die Energie verbrauchende Verdunstung. Dazu tritt die geringe Wärmekapazität und die kleine Wärmeleitzahl der Pflanzenmasse, bei moorigen Böden auch deren schlechtes Wärmeleitvermögen. Insgesamt hat das zur Folge, daß die von der Wiese ausgestrahlte Wärme zu einem besonders hohen Prozentsatz der bodennächsten Luftschicht entnommen wird und deren Temperatur stark absinkt (KRÜGLER 1937, SAUBERER 1937). Dabei fallen die Temperaturen der Blätter gegenüber der umgebenden Luft noch weiter ab, nach Untersuchungen von FALKENBERG (zit. bei BAUER 1957/58) im Durchschnitt um 1^{o}, maximal um 3^{o}. Die absolute Ausstrahlung wird dadurch geringer als über unbewachsenen Flächen, denn sie ist abhängig von der Temperatur der ausstrahlenden Körper (Stefan-Boltzmann'sches Gesetz).

Aus dem Zusammenwirken aller Faktoren ergeben sich j a h r e s z e i t l i c h e Unterschiede für die Größe des Inversionsgradienten. Er ist maximal im April und Oktober (RINK 1953).

Methodik.

Zur Messung der Lufttemperatur wurden an je einem 2 m hohen Holzmast im Freiland und bei 6 m Lee Quecksilberthermometer mit $1/5^{o}$ Teilung in 6 verschiedenen Höhen angebracht. Sie erhielten einen von BUDIG konstruierten Ausstrahlungsschutz, der aus zwei o.5 mm starken kreisrunden Aluminiumblechen von 7 cm Ø besteht und mit einer Gummimanschette am Thermometer befestigt ist. Näheres geht aus einer Beschreibung und Abbildung bei BAUER 1957/58 hervor. Methodisch fraglich ist, ob nicht nur oben, also einseitig abgeschirmte Thermometer der wahren Lufttemperatur näher kommen (HELLMANN 1918). Die Thermometer wurden nicht gegeneinander versetzt, sondern senkrecht übereinander

angebracht, damit keines in den Windschatten des Mastes gerat konnte. Die Ablesungen wurden viertelstündlich durchgeführt, ein Meßgang dauerte 2 bis 3 Minuten. Die Quecksilberthermomete sind insofern günstig, weil sie eine thermische Trägheit besitzen und die kurzzeitigen Temperaturschwankungen der Luft abschwächen. Die Windgeschwindigkeit wurde geschätzt. Zur Kontrolle wurden 3 - 4 Mal je Nacht Messungen mit einem Katathermometer durchgeführt. Dabei wurde der Mittelwert aus je 5 Einzelmessungen zur Errechnung der Windgeschwindigkeit verwendet. Erläuterungen und Formeln zur Verrechnung sind bei KLEINSCHMIDT 1935 und Th. MÜLLER 1956 angegeben.

Bestimmung der Höhe des Temperaturminimums.

Der Luft wird in Höhe der Grasspitzen am meisten Wärme entzogen; hier befindet sich die physikalisch wirksame Oberfläche. Die Kaltluft sinkt aber etwa bis zur geschlossenen Blattdecke ab, so daß die Höhe des Temperaturminimums von den Schichtungsverhältnissen des Bestandes abhängig ist. Um es bei der Aufstellung der Thermometer berücksichtigen zu können, wurde je Versuch im Neckartal und auf der Alb durchgeführt.

W e i l h e i m 5. Juni (Abb. 85).

Bestandsaufbau :	Obergräser	bis 1oo cm
	Salvia, Trif.pratense	5o - 6o cm
	Trif. rep., Medic.lup., Untergräser und Kräuter	25 - 3o cm

Anhand der Abbildung lassen sich vier Phasen unterscheiden. Be a ist eine Inversion zwar schon vorhanden, das Temperaturminim liegt aber noch nicht über der Bodenoberfläche. Bei b befindet es sich in 15 cm Höhe. Bei c wird der Temperaturabfall während des Sonnenunterganges langsamer, gleich danach wieder schnelle Damit im Zusammenhang verlaufen die Temperaturkurven sehr uneinheitlich, und die Minima wechseln zwischen 5 und 4o cm Höhe Bei d bleibt das Minimum konstant bei 3o cm. Es hat sich also etwa 1/2 Stunde nach Sonnenuntergang in Höhe des dichten Blattschlusses der Leguminosen, Untergräser und Kräuter eingestellt

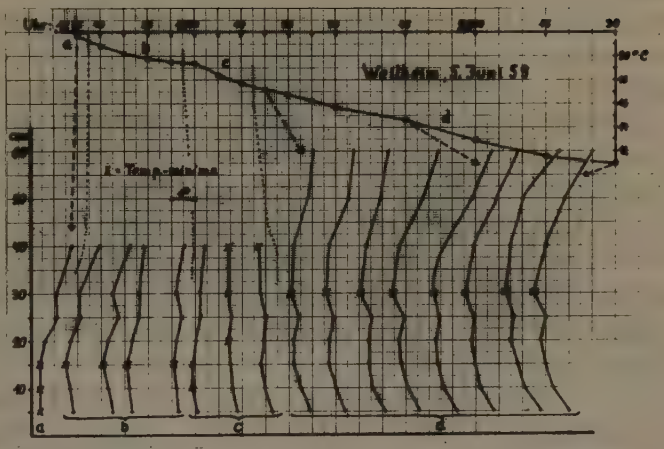


Abb. 85 Abendliche Temperaturstruktur im dichten Wiesenbestand bei schwachem Wind. Bewölkung 0. Sonnenuntergang 19 Uhr. Die obere Kurve gibt die Temperaturen bei 4o cm an.

Wie bei weiteren Untersuchungen gezeigt wird, bleibt es bei ungestörten Ausstrahlungsbedingungen auch im Verlauf der Nacht in dieser Höhe erhalten. Die steilen Kurven zeigen, wie stark die Temperaturwirkung des schwachen Windes ist. Obgleich der Bestand recht dicht ist, verhindert der Massenaustausch die Ausbildung einer kräftigen Inversion. Die Bestandsverhältnisse in Kirchentellinsfurt sind denen in Weilheim ähnlich. Deshalb wurde dort auf eine entsprechende Voruntersuchung verzichtet.

Schömberg 17. Juni (Abb. 86).

Bestandsaufbau :	Obergräser (Bromos erectus)	9o cm
	Mittelgräser (Briza)	5o cm
	Untergräser, Leguminosen, Kräuter	2o - 25 cm

Aus diesen Meßreihen werden nur ausgewählte Temperaturkurven wiedergegeben. Sie zeigen, wie sich bei Windstille eine ausge-

prägte Kaltlufthaube entwickelt. Zur Zeit des Sonnenuntergangs hat sie etwa die Höhe der Bestandsoberfläche erreicht. Später ist ihre Obergrenze nicht mehr erfaßt, jedoch wird das "Ausfüllen" der Inversion deutlich sichtbar. Das Temperaturminimum hat seine endgültige Höhe etwa 1 Stunde nach Sonnenuntergang erreicht. Es liegt entsprechend dem lockeren Bestandsaufbau in nur 15 cm Höhe. Der Temperaturunterschied zwischen 15 und 9o cm steigt sehr rasch. Um 22.oo Uhr ist es in 15 cm Höhe schon 5,9° kälter als an der Bestandsobergrenze. Dieser Inversionsgradient ist extrem hoch. BAUER 1957/58 fand selbst bei einer Höhendifferenz von 195 cm auf Wiesen in Mecklenburg maximal nur 5,1°. Die Abkühlungsgeschwindigkeit, gemessen in 9o cm Höhe, ist zunächst groß, da zur effektiven Ausstrahlung noch der Verbrauch an Verdunstungswärme hinzukommt: 4,2° Abkühlung von 19 - 2o Uhr. Später ist die bodennahe Luft mit Wasserdampf gesättigt, und die Abkühlung beträgt z.B. von 21 - 22 Uhr nur noch 1,6°, obgleich der Meßpunkt zunehmend von der Kaltlufthaube erfaßt wird. Zur Zeit des Sonnenuntergangs tritt auch hier eine Verzögerung und anschließende Beschleunigung der Abkühlung ein.

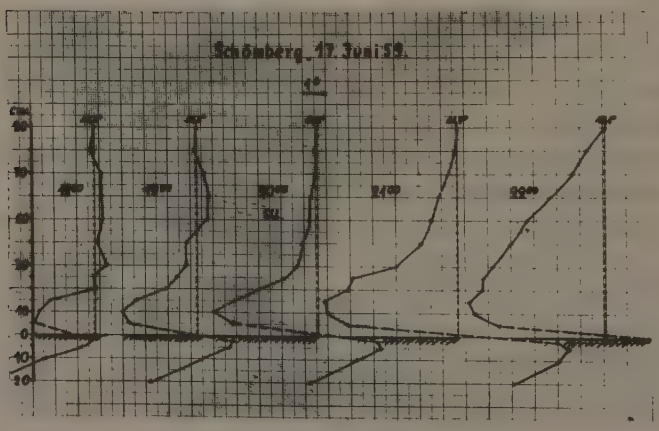


Abb. 86. Abendliche Temperaturstruktur im lockeren Wiesenbestand bei Windstille. Bildung einer ausgeprägten Kaltlufthaube. Bewölkung 0.

Der Temperaturverlauf in den Meßnächten.

Alle Messungen fanden im Sommer 1959 statt. Eine Übersicht mit den wichtigsten Versuchsbedingungen gibt die Tab.16.

T a b e l l e 16

Die nächtlichen Temperaturmessungen.

	Bestandshöhe cm	Wind (Bft)	Bewölk. (o-1o)	Besondere Beobachtungen
./4.Juni)-6.oo	9o	E 0-1	0-4	Bodennebeleinfluß
. Juni)-21.oo	9o	E 0-2	0-4	Verhältnisse in frühen Abendstunden
18./19.Juni 5-6.oo	8o	W 1	0-10	Bewölkungseinfluß
8./9.Juli)-5.oo	9o	SE 0-3	0	Einfluß der Windstärke
./2o.Aug. 15-6oo	8	E 0-2	0-3	Bestandseinfluß: Verhältnisse üb. kurzem Rasen
28./29.Aug.)-6.oo	2o	E 0-2	0-3	Bestandseinfluß: Verhältnisse bei niedrigem Bestand

ungen bei größeren Windstärken wären zweckmäßig gewesen, doch solche im Untersuchungsgebiet während der Sommermonate sehr en.

ie erhaltenen Temperaturwerte können als Funktion der Zeit, der oder von beiden (Thermoisoplethendiagramme) dargestellt werden. ien Zweck dieser Arbeit erweisen sich Temperatur-Zeit-Diagramme die geeignetsten. Sie werden für alle Nächte wiedergegeben. es im Windschutz kälter als im Freiland, so ist die aus den en Temperaturlinien gebildete Fläche schraffiert, so daß izontalprofile" entstehen und die Temperaturwirkung des Wind-

schutzes leicht ablesbar ist. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, hat das Profil jeder Meßhöhe in der Regel eine eigene Nullinie seines Temperaturmaßstabes. Dadurch wird allerdings der Inversionsgradient schwer rekonstruierbar, und zur Ergänzung wurden deshalb auch ausgewählte Temperatur-Höhen-Diagramme gezeichnet ("Vertikalprofile"). In Thermoisoplethendiagrammen tritt das wechselvolle Geschehen im Temperaturgefüge zwar am besten hervor, die Temperaturunterschiede zwischen Windschutz und Freiland werden jedoch in den Einzelheiten weniger deutlich. Diese Darstellungsmethode wurde daher nur für eine Nacht mit besonders starker Abkühlung angewandt.

Weilheim 3./4. Juni (Abb. 87 u. 88)

Die Temperaturverhältnisse dieser Nacht werden weitgehend durch den ab 24 Uhr aufkommenden Bodennebel beeinflußt. Er verhindert eine stärkere Abkühlung der bodennahen Luftschicht und bewirkt, daß die Inversion langsam abgebaut wird. Um 24 Uhr beträgt der Gradient (zwischen 3o und 2oo cm) noch 4,6°, zur Zeit der tiefsten Temperatur um 4.45 Uhr nur noch 2,3°. Ein Einfluß des Zaunes auf die Nebeldichte wurde nicht festgestellt. Die größten Temperaturdifferenzen zwischen Windschutz und Freiland werden in 6o cm Höhe gemessen, also nicht in Höhe des Temperaturminimums. Die Temperaturlinien für 1o und 3o cm Höhe zeigen teilweise einen "umgekehrten" Verlauf, d.h. es ist im Windschutz wärmer als im Freiland. Wahrscheinlich ist zu dieser fast windstillen Zeit auch im Freiland der Massenaustausch in den unteren Bestandsschichten so gering, daß andere Faktoren wirksamer werden als die Windverhältnisse. Mit dem Auffrischen des Windes um 2 Uhr wird es jedenfalls auch in 1o und 3o cm Höhe im Windschutz kälter. Gleichzeitig zieht ein lockeres Wolkenfeld vorbei. Das führt in 2oo cm Höhe zu einer geringen, im Bestand zu einer größeren Temperaturerhöhung; die Inversion wird also "ausgeräumt". Die Temperaturwirkung des Windschutzes wird nicht davon beeinflußt. Gegen morgen dreht der Wind zeitweise um 18o° auf West. Da ein Versetzen des Temperaturmastes nicht möglich war, beziehen sich diese Windschutztemperaturen auf den Luvwindschutz.

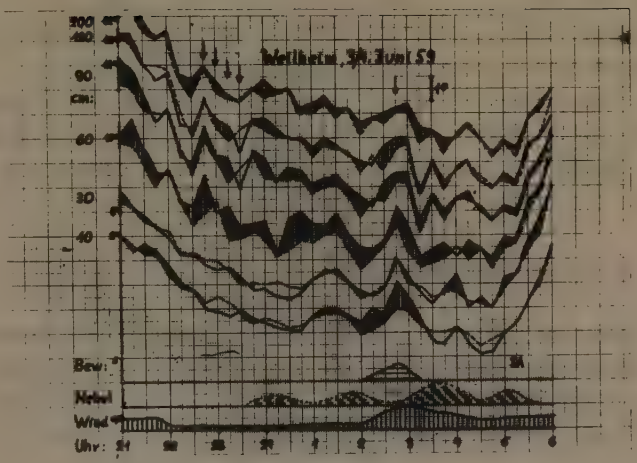


Abb. 87 Temperatur-Zeit Diagramme ("Horizontalprofile"). Hier und in den folgenden Diagrammen: ausgezogene Linie = Freiland, gestrichelte = Windschutz. Windgeschwindigkeit in m/sec. Die Pfeile deuten auf die abgebildeten Vertikalprofile.

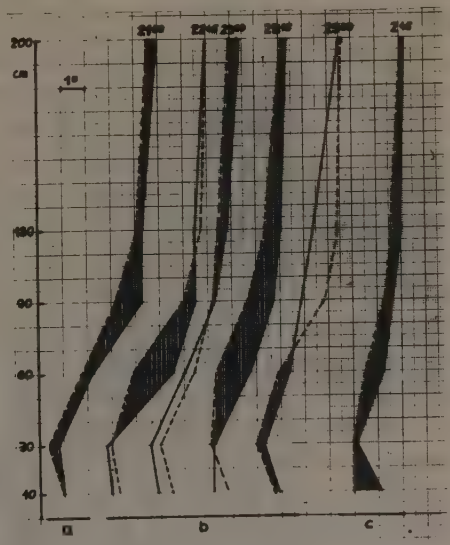


Abb. 88 Weilheim 3/4 Juni.
Temperatur-Höhen Diagramme ("Vertikalprofile").

Als Vertikalprofile wurden ausgewählt :

a) Profil zu Beginn der Messungen.

b) 4 Profile zeigen, wie unterschiedlich das Temperaturgefüge innerhalb einer Stunde sein kann.

c) Durch den auffrischenden Wind wird auch in 1o cm Höhe der Windschutz wirksam, und durch den Wolkendurchzug wird die schon durch den Nebel geschmälerte Inversion weiter ausgeräumt.

Weilheim 4. Juni (Abb. 89 u. 9o).

Eine Meßreihe von 18 bis 21 Uhr zum Studium des Temperaturgefüges am frühen Abend. Der steile Abfall der Temperaturlinie zeigt an, daß die Abkühlung sehr rasch erfolgt. Für die einzelnen Höhen ergeben sich folgende Werte (im Freiland) :

Höhe in cm :	2oo	12o	9o	6o	3o	1o
Abkühlung °C:	9,1	9,6	9,8	9,6	11,7	8,5

Im Windschutz ist es schon eine Stunde vor Sonnenuntergang kä
Die Ausnahme bei 1o cm kann evtl. als Folge einer geringeren B
schattung der Umgebung des Thermometers erklärt werden, denn
nach Sonnenuntergang wird es auch in dieser Höhe kälter als im
Freiland. Die Temperaturunterschiede werden immer dann groß,
wenn warme Luft hinzuströmt. Die Freilandtemperaturen steigen
dann an oder fallen nur sehr wenig, während die Windschutztemp
raturen stärker und beständiger fallen. Beispiele dafür finden
sich um 18.3o, 19.3o und 2o.15 Uhr. Für die Temperaturprofile
in 1o und 3o cm Höhe gilt ein einheitlicher Temperaturmaßstab.
Die Profile kreuzen sich um 19.15 Uhr, d.h. 15 Minuten nach
Sonnenuntergang wird die Luftschicht bei 3o cm zur kältesten.
Die Vertikalprofile zeigen die schnelle Zunahme des Inversions
gradienten und den wechselnen Einfluß des Windschutzzaunes.

18.15 : Bei dieser Windstärke ist die Luftturbulenz auch im Windschutz so stark, daß es hier nur im Bestand kälter wird als im Freiland.

19.oo : Profil zur Zeit des Sonnenuntergangs. Bei geringerer Windstärke reicht die Temperaturwirkung des Windschutz bis in 2 m Höhe.

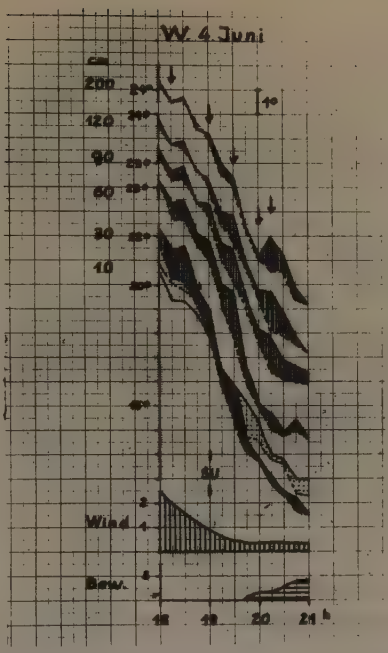


Abb. 89 Das Temperaturgefüge am Abend. Im Windschutz ist es schon vor Sonnenuntergang kälter. Das 1ocm-Profil punktiert.

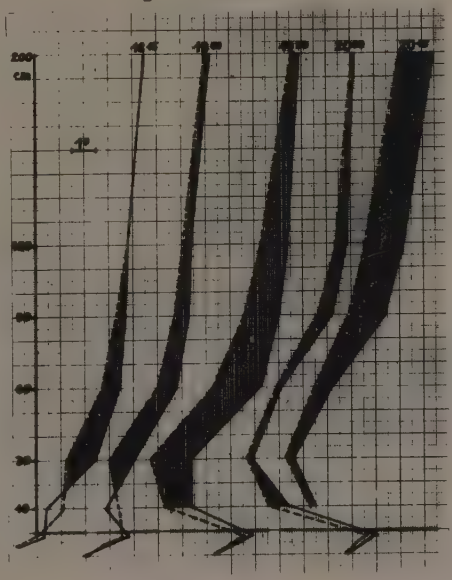


Abb. 9o Weilheim 4. Juni.

19.3o : Durch Warmluftzufuhr werden die Temperaturunterschiede zwischen Freiland und Windschutz besonders groß.

2o.oo und 2o.15 : Profil vor und während der Warmluftzufuhr.

Schömberg 18./19. Juni (Abb. 91 und 92).

Der Wind trifft zwar etwas schräge auf den Zaun, weht aber fast während der ganzen Nacht mit gleicher Stärke. Mit dem aufziehenden Wolkenfeld steigen die Temperaturen an und zwar im Bestand wesentlich stärker als in den höheren Luftschichten :

Höhe cm:	2oo	9o	6o	3o	15	5
Temp.erh.i.Frld. ^{o}C: von 21.3o - 23.45	1,2	1,6	1,8	2,1	2,9	2,8

Die Temperaturdifferenzen zwischen Freiland und Windschutz werden dabei geringer, d.h. die Bewölkung vermindert den Einfluß des Windschutzes auf die Temperatur. Mit zunehmend besseren Ausstrahlungsbedingungen nach dem Durchzug des Wolkenfeldes sinken die Temperaturen wieder ab. Gleichzeitig nimmt die Unterkühlung im Windschutz zu und erreicht bei klarem Himmel um 3 Uhr mit $3,3^{o}$ bei 15 cm das Maximum dieser Nacht. Auch nach Anstieg der Lufttemperatur ab 4.3o Uhr wird sie nur langsam geringer und ist noch fast zwei Stunden nach Sonnenaufgang deutlich meßbar.

Die Vertikalprofile verlaufen ab 3o cm recht steil, denn der Wind greift in den lockeren Bestand ein und durchmischt die Luftschichten. Im Freiland ist er auch in 15 cm Höhe so stark, daß sich hier kein Temperaturminimum einstellt. Im Windschutz dagegen entsteht dieses Minimum, ausgenommen die Zeit starker Bewölkung. Es gibt also eine k r i t i s c h e w i n d g e s c h w i n d i g k e i t , bei der die Temperaturunterschiede zwischen Freiland und Windschutz etwa in Höhe des Blattschlusses besonders groß werden. Die Vertikalprofile zeigen :

a) Während der Abendstunden wächst die Inversion nur im dichten Bestand unterhalb 3o cm.

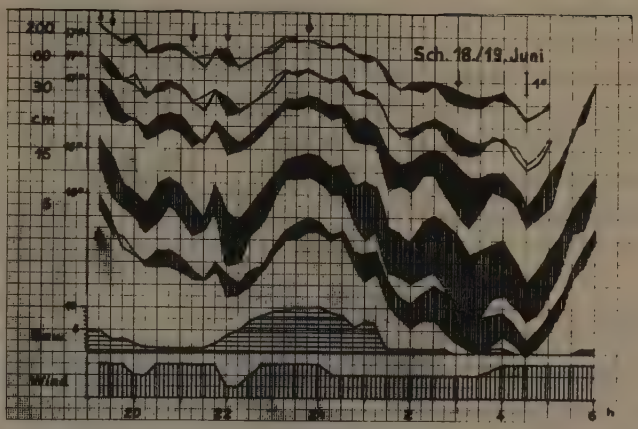


Abb. 91 Bei Bewölkung verringert sich der Temperaturunterschied zwischen Freiland und Windschutz.

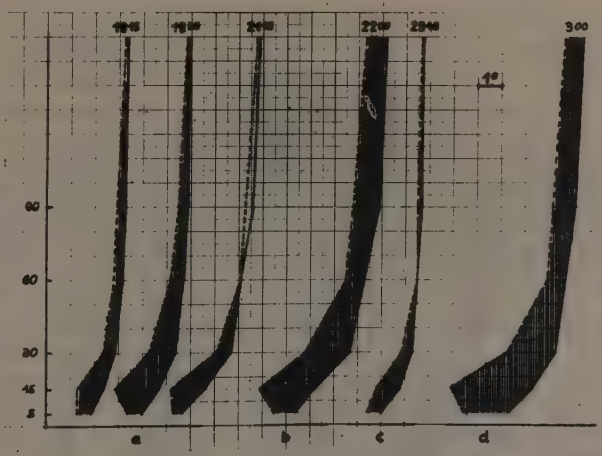


Abb. 92 Schömberg, 18./19. Juni.

b) Zu Beginn des Wolkendurchzugs ist die Unterkühlung im Windschutz stark - auch in 2oo cm Höhe, denn es herrscht gerade Windflaute.

c) Bei bedecktem Himmel ist der Inversionsgradient klein, die Temperaturdifferenz zwischen Freiland und Windschutz niedrig und auch im Windschutz befindet sich in 15 cm Höhe kein Temperaturminimum.

d) Temperaturgefüge zur Zeit der stärksten Unterkühlung im Windschutz.

Schömberg 8./9. Juli (Abb. 93 und 94).

In dieser wolkenlosen Nacht kommt der Einfluß der Windstärke besonders zur Geltung. Etwa parallel zur Abnahme des Windes fallen die Temperaturen und die Unterkühlung im Windschutz nimmt gleichzeitig zu. Hat der Wind aber eine gewisse Geschwindigkeit unterschritten - hier etwa 1m/sec , so verliert der Massenaustausch seine Wirksamkeit, und im Freiland sinken die Temperaturen jetzt schneller als im Windschutz (1.oo - 3.45 Uhr) :

Höhe cm:	2oo	9o	6o	3o	15	5
Temp.abfall.Frld.^oC:	2,5	3,5	3,9	4,8	5,4	4,8
" Windsch. ^oC:	1,7	1,8	2,7	3,2	4,6	2,7

Dadurch nähern sich die Temperaturunterschiede zwischen Freiland und Windschutz Null, der Windschutzzaun verliert also seine Bedeutung. Die Temperaturdifferenz zwischen Freiland und Windschutz ist bis Mitternacht am größten bei 3o cm, danach bei 5 cm und ab 3 Uhr bei 15 cm. Sie erreicht um 3 Uhr mit 4,1° ihr Maximum. Gleichzeitig herrscht ein Inversionsgradient, der fast doppelt so groß ist wie im Freiland:

	2oo cm	15 cm	Inv.grad.zw. 200 und 15 cm
Freiland ^oC :	14,7	11,3	3,4
Windschutz ^oC :	13,8	7,2	6,6
Differenz ^oC :	0,9	4,1	

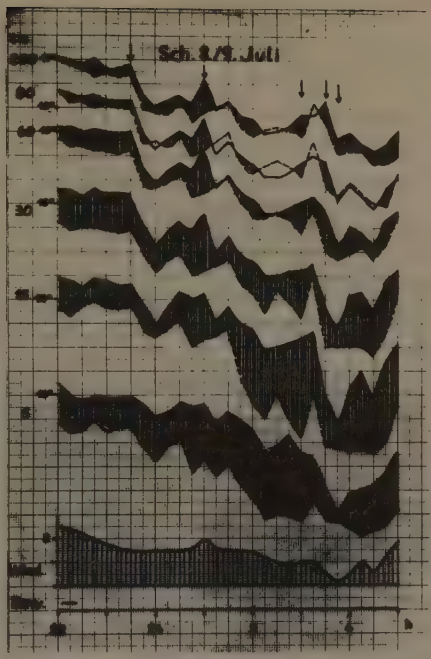


Abb. 93 Der abnehmende Wind wirkt zunächst verstärkend, dann aber vermindernd auf die Unterkühlung im Windschutz.

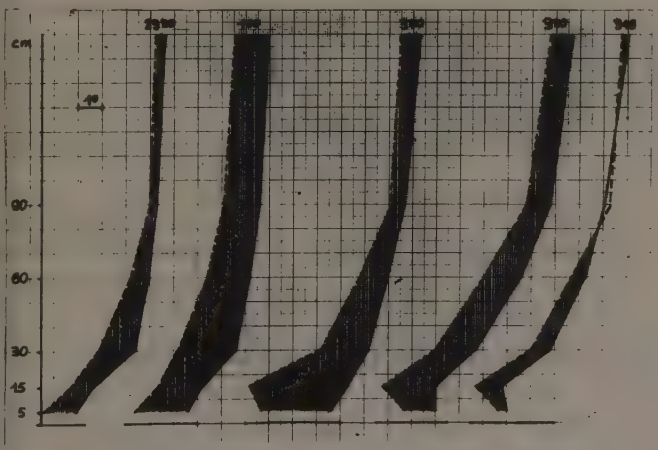


Abb. 94 Schömberg, 8./9. Juli.

Als Vertikalprofile werden wiedergegeben :

23.30 Die größte Unterkühlung herrscht in 30 cm Höhe.
1.00 Die im Freiland zuströmende Warmluft wird durch den Schutzzaun abgehalten.
3.00 Bei kritischer Windstärke bildet sich das Temperaturminimum nur im Windschutz aus und führt zu maximaler Unterkühlung.
3.30 Der Wind hat noch weiter abgenommen. Es entsteht ein sehr hoher Inversionsgradient, und auch im Freiland bahnt sich die Entstehung eines Temperaturminimums bei 15 cm an.
3.45 Bei annähernder Windstille besteht dieses Temperaturminimum, und die Unterkühlung im Schutzbereich wird klein.

Für diese Nacht wird die Wirkung des Windschutzzaunes auf das Temperaturgefüge zusätzlich durch Thermoisoplethendiagramm veranschaulicht (Abb. 95 und 96). Zunächst zu den Verhältnissen im Freiland : Bei Beginn der Messungen dauerte der Abkühlungsprozeß schon an und hat eine etwa 60 cm mächtige Kaltluftdecke geschaffen. Sie ist erkennbar am wagerechten Verlauf der Isoplethen. Um 23.30 Uhr verstärkt sich die Abkühlung, die Isoplethen richten sich auf. Um 24 Uhr führt der auffrischende Wind zu einem größeren Wärmeaustausch, die Temperaturflächen sinken ein. Ab 2 Uhr fallen die Temperaturen stark ab, und es bildet sich eine kräftige Kaltlufthaube aus. Diese Entwicklung wird von 2.30 Uhr bis 3.15 Uhr unterbrochen. Um 3.45 Uhr werden die tiefsten Temperaturen gemessen. Sie erscheinen auf dem Diagramm als Kern der Kaltlufthaube. Der Inversionsgradient erreicht seinen höchsten Wert. Danach frischt der Wind wieder auf und drängt die Inversion zurück. Mit Sonnenaufgang gegen 5 Uhr bricht die Kaltlufthaube zusammen.

Diese großen Abschnitte des nächtlichen Temperaturgeschehens lassen sich auch bei der Darstellung für den Windschutz erkennen. Unterschiede zum Freiland zeigen sich vor allem in den unteren Meßhöhen. Während im Freiland auch im Bestand ein schwacher Wind für Luftturbulenz und Wärmeaustausch sorgt, herrscht im Windschutz Windstille und die Inversion bildet sich voll aus. Die Periode der kritischen Windstärke, bei der das vom Boden abgehobene Temperaturminimum nur im Windschutz entsteht, läßt sich

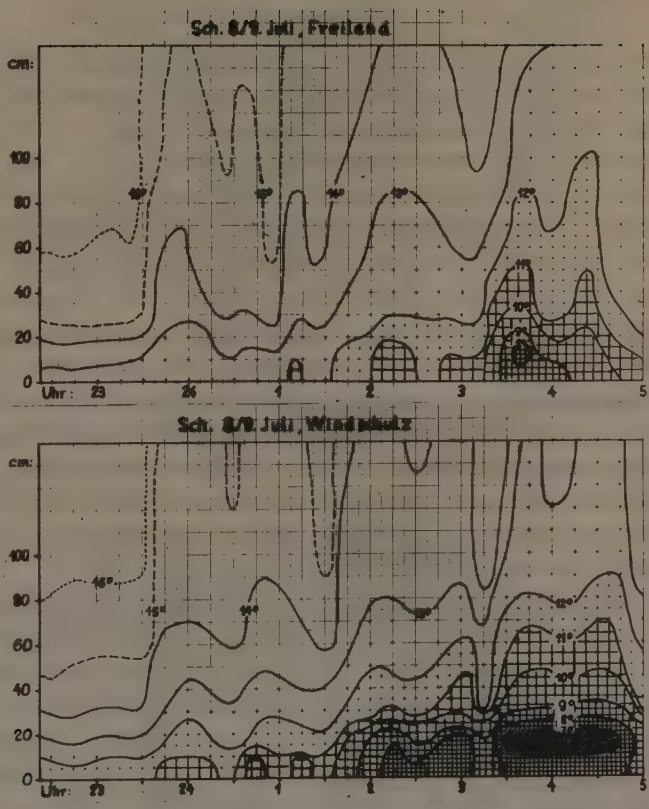


Abb. 95 und 96 Die Wiesenunterkühlung im Freiland und Windschutz, dargestellt durch Thermoisoplethen.

aus dem Vergleich der beiden Diagramme leicht ablesen. (Das Diagramm ist allerdings zu grob, um auch die kritische Windstärke z.B. um 3 Uhr sichtbar zu machen).

Kirchentellinsfurt 19./2o. Aug. (Abb. 97 und 98).

Dieser Versuch wurde über kurzem Rasen zwei Tage nach dem 2. Schnitt durchgeführt. Die Unterkühlung im Windschutz ist in allen Höhen etwa gleich stark. Das ist ein Hinweis, daß die bisher gefundene maximale Temperaturerniedrigung in den unteren Zonen durch den Bestand verursacht wird. Auch in dieser Nacht wird deutlich, daß die großen Unterkühlungen meistens bei steigenden Temperaturen entstehen; die Temperaturlinien im Windschutz hinken gewissermaßen nach (21.15, 22.3o, 23.45 und 2 Uhr). Eine nicht zu klärende Erscheinung wird durch die Westwindintervalle hervorgerufen. Die Leemeßstellen stehen dabei plötzlich in Luv. In dieser Entfernung vom Zaun (6 m) erfolgt aber schon eine luvseitige Verminderung der Windgeschwindigkeit und es müßte dementsprechend eine niedrigere Temperatur erwartet werden. Tatsächlich steigen die Temperaturen aber über die des Freilandes an, bei den oberen Meßpunkten meistens geringer und für kürzere Zeit als bei den unteren.

An den im allgemeinen recht steil verlaufenden Vertikalprofilen ist zu erkennen, daß die Inversion, verglichen mit den Messungen im Hochsommer, nur mäßig ist. Nur unterhalb 3o cm steigt der Inversionsgradient etwas an. Ein vom Boden abgehobenes Temperaturminimum ist bei dieser Anordnung - das niedrigste Thermometer bei 5 cm - nicht zu erkennen. Folgende Vertikalprofile wurden ausgewählt :

a) Beginn der Messungen.
b) In allen Höhen starke Unterkühlung im Windschutz bei Warmluftzufuhr.
c) Erstes Westwindintervall.
d) 4 aufeinanderfolgenden Messungen. Die Schutzwirkung wird bei den oberen Meßpunkten am ehesten variiert (vgl. aber auch Abb. 88).
e) Zur Zeit der tiefsten Temperatur der Nacht erreicht der Inversionsgradient (200 - 5 cm) mit 2,9° sein Maximum. Die

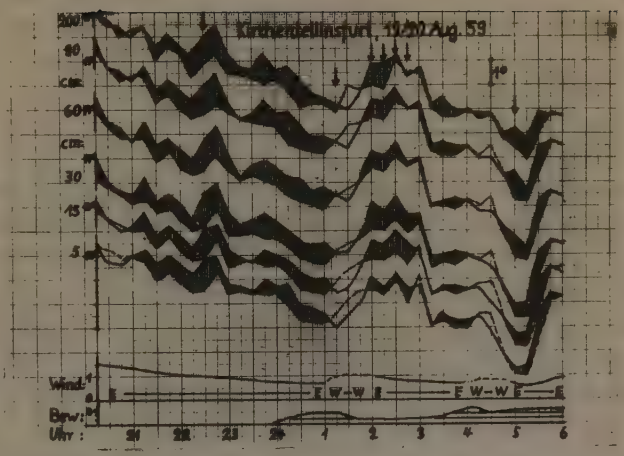


Abb. 97 Temperaturmessungen über kurzem Rasen.

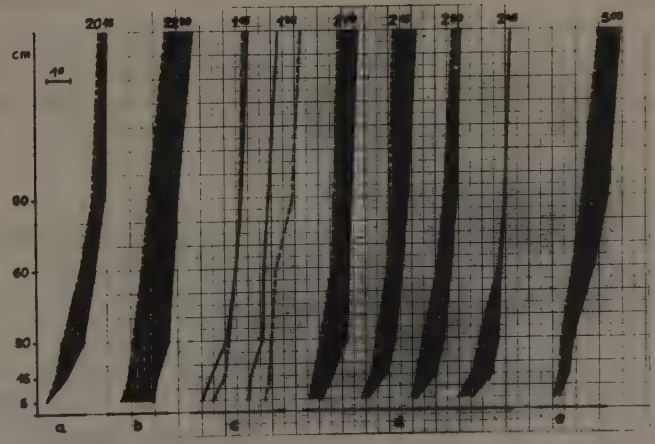


Abb. 98 Kirchentellinsfurt 19./2o. August.

kritische Windstärke ist unterschritten : auch im Freiland reicht der Massentausch nicht mehr bis in unmittelbare Bodennähe, so daß die Lufttemperatur dort stark absinkt und ihre Differenz zum Windschutz gering wird.

Schömberg 28./29. Aug. (Abb. 99 und 1oo).

Die Messungen dieser Nacht bestätigen den Einfluß der Bestandsstruktur auf die Unterkühlung im Windschutz. Der Versuch fand 6 Wochen nach dem 1. Schnitt statt; die Obergrenze des Bestandes lag bei 2o cm, der Blattschluß bei 6 cm. Die Temperaturerniedrigung im Windschutz ist maximal in Höhe des Blattschlusses, nimmt aber schon in der von den Halmen von Bromus erectus gebildeten Zone stark ab. Oberhalb des Bestandes sinkt sie um einen geringen Betrag weiter ab, bleibt dann aber annähernd konstant. Der geringe Wert in 2oo cm Höhe wird vermutlich durch das schräge Auftreffen des Windes auf den Zaun verursacht. Von Beginn der Messungen bis 22 Uhr weht der Wind sogar parallel zum Zaun. Die Meßstelle in Zaunnähe zeigt innerhalb des geschlossenen Bestandes trotzdem eine Unterkühlung an. Wahrscheinlich wird die Luftströmung durch den Zaun doch so gestört und gebremst, daß der Massenaustausch nicht so sehr wie im Freiland in den Bestand eingreifen kann. Die maximale Unterkühlung wird bei einer mit auffrischendem Wind verbundenen Temperaturerhöhung schon um 22.15 Uhr gemessen. Ähnlich wie bei dem Versuch am 8./9. Juli ist die tiefste Temperatur mit Windstille und dadurch auch mit einer nur geringen Unterkühlung im Windschutz verbunden.

Die Vertikalprofile zeigen :

a) Temperaturkurven zur Zeit des parallel zum Zaun wehenden Windes.
b) links: auffrischender Wind und Temperaturanstieg führen zu starker Unterkühlung im Windschutz.
   rechts: 45 Min. später nach stetigem Abflauen des Windes und starkem Abfall der Lufttemperatur. Die Unterkühlung ist nur gering, der Inversionsgradient mehr als doppelt so groß
c) ähnlicher Vergleich wie b). Rechts Profil zur Zeit der tiefsten Temperatur der Nacht.

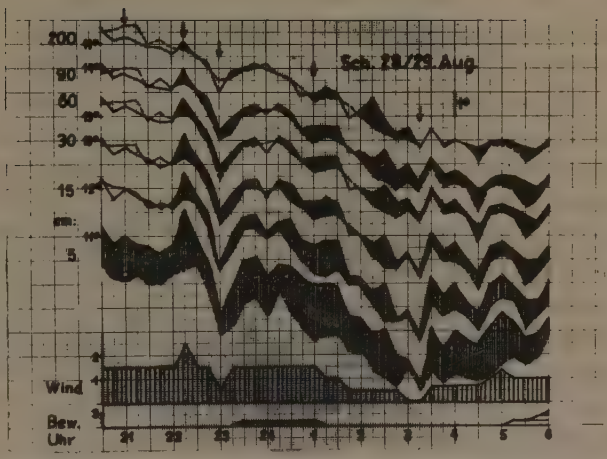


Abb. 99 Windschutzunterkühlung bei einer Bestandshöhe von 2o cm. Bis 22 Uhr weht der Wind parallel zum Zaun.

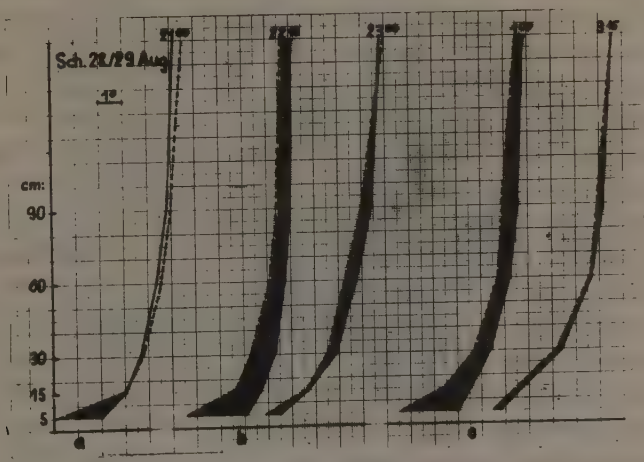


Abb. 1oo Schömberg 28./29. August.

Abnahme aber noch nicht 1 m/sec. erreicht hat, nimmt die Unterkühlung zu; erst bei weiterem Abflauen wird die Unterkühlung sprunghaft geringer.

Bezieht man die Temperaturkurven in die Betrachtung mit ein, so fällt auf, daß zur Zeit der tiefsten Temperatur die Unterkühlung im Windschutz nur gering ist. Das hat praktische Bedeutung für die Gefahr eventueller Frostschäden. Eingehende Messungen müssen für ein Gesamturteil abgewartet werden, diese Beispiele zeigen aber, daß die Unterkühlung im Windschutz nicht zwangsläufig zu Frostschäden führen muß.

Der Einfluß der Bewölkung (Abb. 103) läßt sich dahingehend zusammenfassen, daß mit zunehmender Bedeckung sowohl Inversion als auch Unterkühlung geringer werden. Weitere, insbesondere auch quantitative Untersuchungen dieser Frage müßten unter anderem an SAUBERER 1951 anschließen. Er fand z.B., daß die Abnahme der Ausstrahlung bei zunehmender Bewölkung nicht linearen, sondern quadratischen Beziehungen folgt.

Diese Betrachtungen bedürfen der Ergänzung durch eine nähere Bestimmung des Bestandseinflusses. Die maximale Unterkühlung stellte sich meistens in Höhe des Blattschlusses ein. Wie besonders die Vertikalprofile zeigen, gibt es aber auch viele andere Fälle. Den Schlüssel zum Verständnis dieser Unterschiede liefern Vergleiche der Vertikalprofile bei verschiedenen Windstärken und die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Windgeschwindigkeit und Inversionsgradient. Über letztere hat SIEGEL 1936 eingehende Messungen durchgeführt. Er fand über kurzem Rasen folgende Werte:

Windgeschw. in 225 cm Höhe	m/s:	4	3	2	1	0,3
Invers. gradient zw. 6 u. 22o cm	°C :	0,9	1,2	1,6	2,2	3,1
Differenz	°C :		0,3	0,4	0,6	0,9

Beim Übergang zur Windstille nimmt der Inversionsgradient stark zu, d.h. die Abkühlung in Bodennähe nimmt exzessive Werte an.

Während am Tage die Wirksamkeit des Schutzzaunes darin besteht, die starken und mässigen Winde zu verringern, liegt seine Bedeutung nachts darin, daß er die schwachen Winde noch weiter herab setzt und dadurch außerordentlich hohe Inversionsgradienten in Bodennähe entstehen.

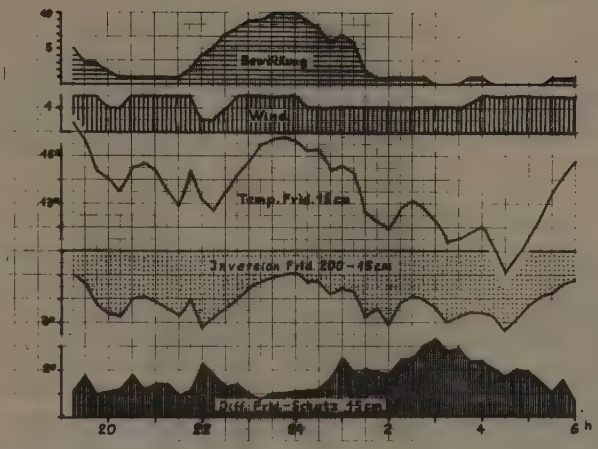


Abb. 1o3 Schömberg, 18./18. Juni.

Der Wind wird durch den Schutzzaun in horizontaler Richtung bgeschwächt, er wird aber bei Annäherung an die Vegetation auch n vertikaler Richtung gebremst. Aus beiden Komponenten ergeben ich die spezifischen Ausprägungen der Vertikalprofile. Es soll ersucht werden, diese Zusammenhänge durch ein Schema anschauich zu machen (Abb. 1o4). Es bedarf der Nachprüfung durch umangreichere Messungen; mit seiner Hilfe kann jedoch ein großer eil der gefundenen Erscheinungen erklärt werden, und es soll eshalb als Arbeitshypothese zur Disskussion gestellt werden. n einem 1oo cm hohen Wiesenbestand werden für eine wolkenfreie acht 7 Profiltypen nach abnehmenden Windgeschwindigkeiten angerdnet:

yp 1: Bei mittleren und starken Winden greift der Massenaustausch sowohl im Freiland als auch im Schutz durch den Bestand bis zur Bodenoberfläche durch. Der Schutzzaun hat keine Wirkung auf die Temperaturverhältnisse.

yp 2: Im Windschutz reicht der Massenaustausch nicht mehr bis zur Bodenoberfläche.

Typ 3: Auch über dem Bestand wirkt sich der Massenaustausch im Windschutz nicht so stark wie im Freiland aus.

Typ 4: Profil der schon beschriebenen kritischen Windstärke.(S.14

Typ 5: Auch im Freiland bildet sich ein vom Boden abgehobenes Temperaturminimum aus. Die Zone der maximalen Temperaturwirkung des Schutzzaunes wandert in die obere lockere Bestandschicht (oder in die Luftschicht über dem Bestand?)

Typ 6: Im Windschutz herrscht in allen Höhen Windstille, im Freiland weht nur über dem Bestand noch ein leiser Zug.

Typ 7: Die Wirksamkeit des Zaunes erlischt bei vollkommener Luftruhe.

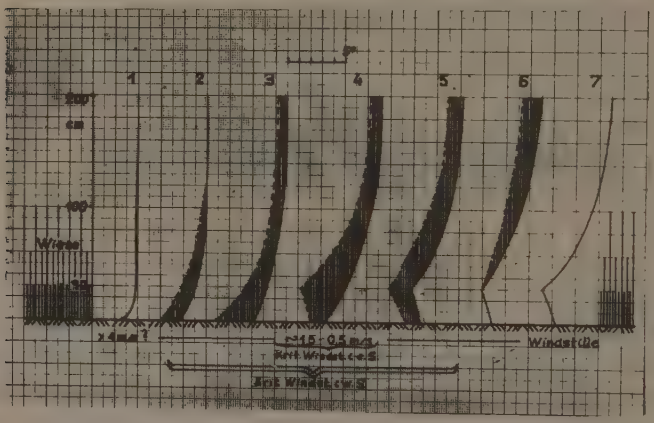


Abb. 1o4 Schema der nächtlichen vertikalen Temperaturverteilung auf einer Wiese im Windschutz. 7 Profiltypen nach fallender Windgeschwindigkeit angeordnet.——— Freiland ------ Windschutz. Die Geschwindigkeitsangaben gelten für 2oo cm Höhe.

Die Zone der stärksten Unterkühlung im Schutzbereich wandert mit abfallendem Wind vom Boden der Wiese bis über den Bestand. Sie liegt jeweils in der Höhe, in der sich die Windgeschwindigkeitsdifferenz zwischen Freiland und Windschutz im Bereich des Übergangs zur Windstille befindet. Der Schutzzaun verliert seine Temperaturwirksamkeit bei starkem Wind, so daß sich ein

stimmter Geschwindigkeitsbereich ergibt, in dem eine Unter-
lung im Windschutz eintritt; er wurde in dem Schema als
tische Windstärke i.w.S. bezeichnet. Die Zuordnung zu be-
mmten Windgeschwindigkeiten ist nur vage, die genauen Werte
sen für jeden Bestand neu ermittelt werden. Die Profiltypen
assen von links nach rechts einen zunehmend kleineren Ge-
windigkeitsbereich. Die unterschiedliche Schräge der Profile
gt, daß jeder Typ sein Schwergewicht bei einem bestimmten
ersionsgradienten hat.
Beispiele aus den untersuchten Nächten für diese Profilreihe
d aus den Horizontalprofilen rekonstruierbar, finden sich
r auch bei den Vertikalprofilen. Bei der Abendmessung am
Juni (Abb. 9o) ergibt sich z.B. parallel zum abflauenden
d eine Reihe von Typ 2 bis Typ 6 mit Ausnahme des Typ 4.
ser herrscht am 18./19. Juni vor (Abb. 92). Typ 7 wird am
/29. August um 3.15 Uhr (Abb. 1oo) annähernd erreicht. Typ 1
nicht vertreten, da die Windstärken dazu nicht ausreichten.
Weitere Kombinationen ergeben sich, wenn man die Typen der
htlichen Temperaturverteilung, wie sie von GEIGER 195o gefaßt
den, in die Betrachtung einbezieht. Der Abendwindtyp, der Typ
fortschreitenden wachsenden Kaltluft und der nächtliche
tauschtyp wurden auch bei den vorliegenden Untersuchungen
gefunden, nicht jedoch der Typ des nächtlichen sekundären
imums. Vielleicht liegt es daran, daß die völlige Luftruhe
er nur kurze Zeit dauerte, denn nach SIEGEL 1936 sind 2o - 4o
n. Luftruhe zu seiner Bildung nötig. Das Beobachtungsmaterial
zu dieser erweiterten Analyse nicht umfangreich genug.

ergänzung: die Minimumtemperaturen.

Eine wertvolle Ergänzung zu den Temperaturgängen stellen
Messungen mit Minimumthermometern dar, da mit ihnen auch
Temperaturverteilung in Abhängigkeit von der Entfernung vom
an ermittelt werden kann. Es standen zehn der üblichen Alkohol-
inimumthermometer zur Verfügung. Sie wurden ohne Strahlungs-
utz dicht über dem Bestand angebracht.

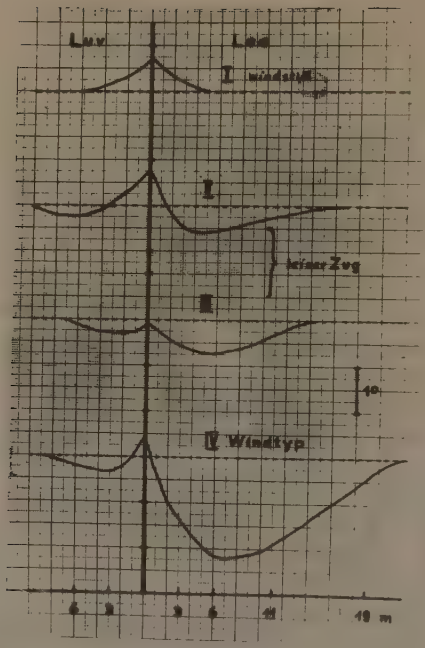


Abb. 1o5 Typen der nächtlichen horizontalen Temperaturverteilung im Windschutz, gemessen mit Minimumthermometern.

Die Temperaturen wurden in 33 Nächten im Sommer 1959 gemessen. 7 Meßreihen wurden in der zweiten Julihälte bei einer Bestandshöhe von 5o cm in den Wiesen im Neckartal, 26 Meßreihen nach dem 2. Schnitt wechselweise auf allen Versuchsfeldern durchgeführt.

In 6 Nächten wurde keinerlei Einfluß des Zaunes festgestellt. Die Veränderungen in den übrigen Meßnächten lassen sich durch vier Typen der Temperaturverteilung wiedergeben (Abb.1o5). Typ I tritt nur in vollständig windstillen Nächten auf. Der Schutzzaun wirkt ausschließlich als Ausstrahlungshindernis. Beiderseits des Zaunes bis zu etwa 4 m = 2 H tritt eine Temperaturerhöhung ein, die in starken Strahlungsnächten in unmittel

arer Zaunnähe 1^{o} überschreiten kann. Bereits bei ganz leisem ug stellen sich die Typen II und III ein. Typ II herrscht in trahlungsnächten vor, Typ III bei bedecktem Himmel, meist erbunden mit etwas stärkerem Wind. Der Typ IV wurde nur einal gemessen (alle anderen 8 oder 9 mal) und zwar auf dem chömberg in einer klaren Septembernacht bei Windstärke 2. Er st nur mit Vorbehalt in diese Reihe zu stellen, denn die hermometer waren hier ausnahmsweise nur 5 cm über dem Boden ei 12 cm hohem Bestand aufgestellt.

Insgesamt bestätigen diese Ergebnisse die überwiegend neative Temperaturwirkung des Windschutzes. Dabei ist noch zu erücksichtigen, daß die Unterkühlung im Windschutz zur Zeit er Tiefsttemperatur häufig geringer ist als im nächtlichen urchschnitt. Unterschiede zwischen den Standorten im Neckaral und dem Schömberg konnten nicht festgestellt werden. Die estandshöhe wirkt sich geringfügig dahingehend aus, daß die emperaturerniedrigung bei höherem Bestand größer wird. Wie chon angedeutet, ergibt sich aus der Unterkühlung im Windchutz nicht zwangsläufig eine Frostschadensgefahr. Das ergab uch eine Spätfrostbeobachtung auf der Wiese Weilheim am 22. pril 1959. Besonders geschädigt wurden die herausragenden orste von Trifolium pratense, dann folgten Medicago lupulina, rifolium repens, Vicia sepium und Plantago lanceolata. Der trahlungsfrost war offenbar bei Windstille erfolgt, es war ein Einfluß des Schutzzaunes feststellbar.

D I E B O D E N T E M P E R A T U R E N

ie Bodentemperaturen wurden gemessen:

.) Bei allen Tagesgängen (vergl. Tab. 13, S.91), d.h. zusammen it der Verdunstung, der Lufttemperatur und der Luftfeuchte in ;ündlichem Abstand. Bis zu fünf Meßstellen.

.) Während vier Nächten, gleichzeitig mit den Messungen der ıfttemperatur in halbstündigem Abstand. Zwei Meßstellen freiland und 6 m Lee).

.) Auf jedem Versuchsfeld an mehreren Schönwettertagen mit ? Meßstellen zur Ermittlung vollständiger Meßprofile.

Es standen eine beschränkte Anzahl Quecksilberthermometer zur Verfügung, teils mit 1°-, teils mit 1/5°- Einteilung. Die Temperaturen wurden meistens nur in zwei Tiefen, in 5 und 1o oder 15 cm bestimmt, selten zusätzlich in 2 und 2o cm. Blindversuche ergaben, daß sie besonders in den oberen Bodenschichten sehr schwanken. Es wurde deshalb bei den unter 3) genannten Versuchen jeder Wert des Meßprofils aus fünf Einzelmessungen gemittelt. Da dabei die Thermometer häufig umgesteckt werden mußten, dauerte ein Meßgang 1 bis 1 1/2 Stunden; der sich in den Meßergebnissen auswirkende Tagesgang der Bodentemperatur wurde mit Hilfe fester Vergleichsthermometer eliminiert. Die Messungen fanden bei verschieden hohem Bestand, meistens jedoch bei niedrigem statt.

Am Tage war bei allen Messungen eine Erhöhung der Bodentemperatur im Windschutz festzustellen. Sie ist umso ausgeprägter, je niedriger und je lockerer der Bestand ist. Die maximale Erhöhung fällt fast stets mit den höchsten Bodentemperaturen des Tages zusammen. In den tieferen Bodenschichten tritt sie entsprechend der allgemeinen Phasenverschiebung des Tagesganges der Bodentemperaturen später auf: bei 2 cm um 14 Uhr, bei 5 cm zwischen 15 und 16 Uhr, bei 1o cm zwischen 17 und 18 Uhr und bei 15 cm zwischen 18 und 19 Uhr. Die Erhöhung nimmt mit der Tiefe schnell ab, mittlere Werte sind für 2 cm 2°, für 5 cm 1,4°, für 1o cm o,7° und für 15 cm o,4°. In den Abb. 1o6-1o8 werden drei repräsentative Tagesgänge der Bodentemperatur wiedergegeben. Auf dem Schömberg erreicht die Erhöhung selbst bei hohem Bestand und mäßiger Bewölkung etwa die gleichen Werte wie auf den Wiesen im Neckartal bei kurzem Rasen und sonnigem Wetter.

In unmittelbarer Zaunnähe entstehen ähnlich wie bei Bodenfeuch und Verdunstung besonders große Unterschiede. Als Beispiel für Kirchentellinsfurt zeigt die Abb. 1o9, daß sich bei den Bodentemperaturkurven für 5 cm im Laufe eines sonnigen Tages vier charakteristische Formen unterscheiden lassen: a) 7 - 8 Uhr, b) 9 - 12 Uhr, c) 13 Uhr und d) 14 - 19 Uhr. In 15 cm Tiefe sind diese Unterschiede nicht mehr vorhanden. Der Verlauf der Kurven wird durch die längere Bestrahlung der Südwestseite geprägt. Die maximale Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten des Zaunes beträgt nur o,8° im Vergleich zu 1,7° bei 5 cm. Ähnlich

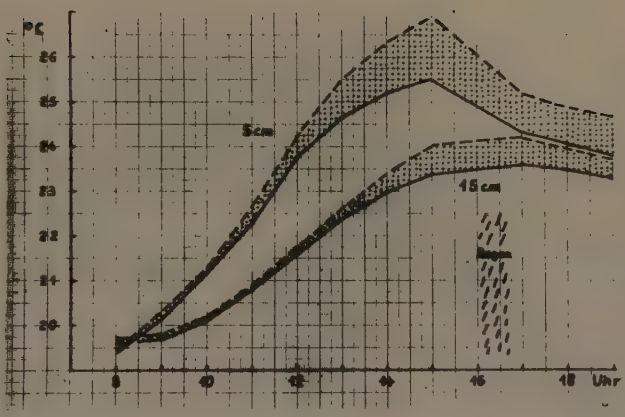


Abb. 1o6 Bodentemperaturen in Kirchentellinsfurt am 24. Aug. 1959 (Tagesgang 9). Kurzer Rasen. Wind E 2. Bewölkung 1. Hier und in Abb. 1o7 u. 1o8 :
——— Freiland , ------ Windschutz.

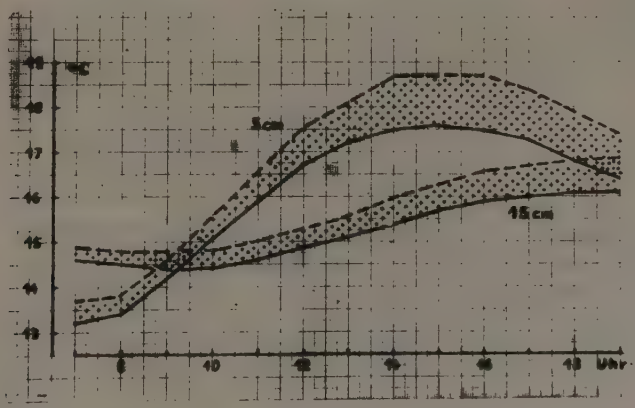


Abb. 1o7 Bodentemperaturen in Weilheim am 14. Sept. 1959 (Tagesgang 13). Kurzer Rasen. Wind E 2 - 3. Bew.O.

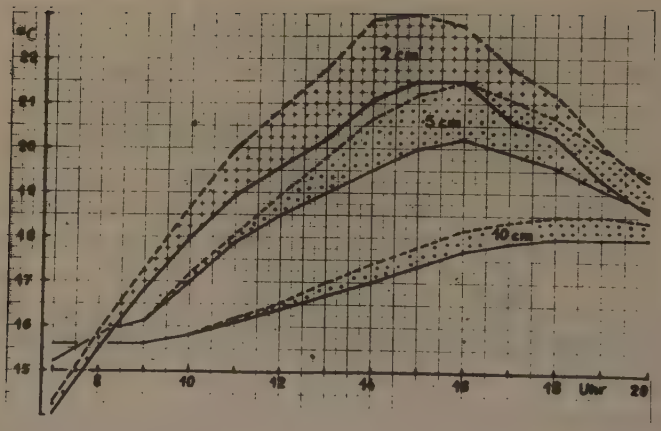


Abb. 1o8 Bodentemperaturen auf dem Schömberg am 2o. Juni 1959 (Tagesgang 6). Hoher Bestand. Wind NW 3. Bew. 4.

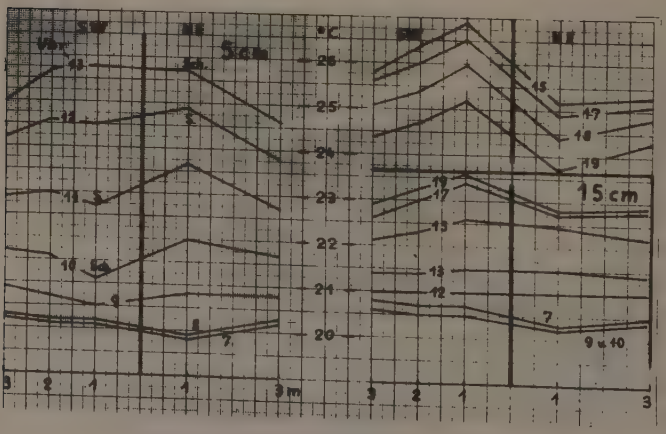


Abb. 1o9 Die Bodentemperaturen in Zaunnähe am 25. August 1959 in Kirchentellinsfurt (Tagesgang 1o). Kurzer Rasen. Wind E 2. Bew. 1. S Sonne, Sch Schatten.

e bei der Verdunstung (vgl. Abb. 5o, S. 88) wird auch hier deutch, daß sich im Tagesmittel die Erhöhung der Lufttemperatur an r Lee- und Hauptsonnenseite stärker auswirkt als ihre Erniegung an der Hauptschattenseite. Anders wird allerdings das ld, wenn die Bodentemperaturen auch direkt unter dem Zaun gessen werden. Wie die Abb. llo zeigt, ist hier die Erniedrigung außerordentlich stark. Außerdem ist zu beachten, daß bei esem Beispiel die Hauptsonnenseite nicht mit der Lee-, sonderm t der Luvseite zusammenfällt. In 1m Entfernung ist der Boden ch noch um 18 Uhr an der Luvseite wärmer, in 3 m Entfernung doch an der Leeseite. D.h. bei 1m werden die Bodentemperatun in erster Linie von der Lage zur Sonne bestimmt, bei 3 m doch von der Lage zur Windrichtung.

Ein sich über das ganze Versuchsfeld erstreckendes Bodenmperaturprofil zeigt die Abb. 111. Die Messungen wurden um Uhr, also etwa zur Zeit des ausgeprägtesten Temperaturgegentzes zwischen zaunnaher Ost- und Westseite vorgenommen. Zu eser Zeit ist bei 1 m die Bodentemperaturerhöhung und - erdrigung gleich stark. Wie schon erwähnt (S. 1o1), ist das fttemperaturmaximum gegenüber dem Windminimum zum Zaun hin rschoben; entsprechendes gilt auch für die Lage des Bodenmperaturmaximums. Die Temperaturprofile anderer Meßreihen zeiı eine etwas geringere Erhöhung, aber einen prinzipiell ähnchen Verlauf.

Angesichts der Luft- und Bodentemperaturerhöhung während des ges und der Lufttemperaturerniedrigung während der Nacht ist e Frage von Interesse, wie sich die Bodentemperaturen nachts Windschutz verhalten. Die Messungen ergaben, daß sich die gegengesetzten Einflüsse praktisch ausgleichen. In den tiefen Bodenschichten bleibt z.T. noch die Tageserwärmung erhalı, in der obersten Schicht kann sich gegen Morgen eine geringe ertemperatur einstellen. Für die Verhältnisse im zaunnahen m gibt die Abb. lo9 einen Hinweis: der Verlauf der morgendlien Temperaturkurven spiegelt noch schwach die abendlichen Verltnisse des Vortages wieder. Die Nachwirkung des Vortages igt sich auch bei dem Tagesgang in Weilheim (Abb. lo7). Der ndschutz bewirkt also im Mittel von 24 Stunden eine Erhöhung r Bodentemperatur.

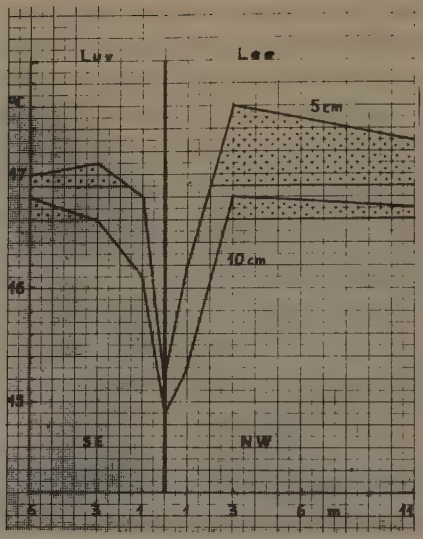


Abb. 11o Die Bodentemperaturen in Zaunnähe auf dem Schömberg am 5. Sept. 1959, 18 Uhr. 2o cm hoher Bestand. Erhöhung im Windschutz punktiert. Wind E 3-4. Bew. 2.

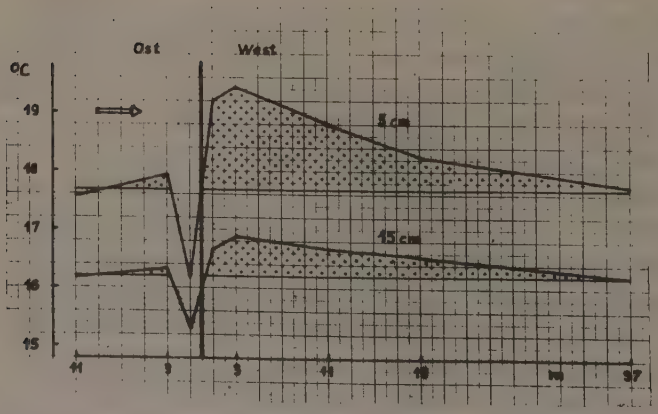


Abb. 111 Die Bodentemperaturen in Weilheim am 2. Sept. 1959 um 17 Uhr. Kurzer Rasen. Wind E 2. Bew. 1. (Unter dem Zaun keine Meßstelle).

führliche Untersuchungen über die Bodentemperaturen im Windutz führte BRASSE 1954 durch, allerdings ausschließlich im etationslosen Boden. Die Bodentemperaturen erhöhten sich im dschutz vergleichsweise stärker: bis zu 6° bei 2 cm, bis zu ° bei 1o cm. Zahlenmäßig belegt BRASSE, in welcher Weise die megunst im Windschutz mit zunehmender Lufttemperatur wächst. gleichen wird sie, wie auch CASPERSON 1957 fand, größer mit Austrocknung des Bodens. Daraus ergibt sich die wichtige Behung, daß durch die Bodenfeuchteerhöhung im Windschutz die entemperaturerhöhung herabgesetzt wird. Bei dieser Gegenläufkeit der Windschutzwirkungen überwiegt der Wärmeeinfluß; die enfeuchte kann nicht so sehr gesteigert werden, daß dadurch Temperaturerhöhung unterbleibt. Einen Hinweis dazu gibt z.B. Bodentemperaturprofil von Weilheim (Abb. 111), denn zur Zeit Messung war die Bodenfeuchte im Windschutz sicher deutlich öht (vergl. Abb. 78, S.121).

Die Abhängigkeiten der Bodentemperatur im Windschutz von der terung untersucht auch STEUBING 1952/53. Auch in der Nacht den die Bodentemperaturen stark vom Bewölkungsgrad beeinflußt. ungehinderter Ausstrahlung kühlt der Boden im Windschutz rker ab, bei bedecktem Himmel erhält sich die Tageserwärmung. r nur geringe Erhöhung der Bodentemperatur berichtet HESSE 4/55. FUSS 1954/55 betont, daß der Windeinfluß im Verhältnis Einfluß der Strahlung gering ist und durch letzteren häufig rdeckt werden kann. Über den nächtlichen Temperaturgang in senböden allgemein berichtet BAUER 1957/58. Die Abhängigkeit Bodentemperatur von meteorologischen Faktoren behandelt GENTHALER 1933 und HERR 1936. BAIER 1952 vergleicht u.a. die entemperaturen unter Rasen und im unbewachsenen Boden.

Die biologische Bodenaktivität wird nach Untersuchungen von UBING 1958 besonders dann gehemmt, wenn die Bodentemperaturen er 5 - 1o° sinken, während in der warmen Jahreszeit der Washaushalt einen entscheidenden Einfluß ausübt. Die Erhöhung Bodentemperatur im Windschutz wird also in erster Linie für Keimung und Jugendentwicklung der Pflanzen von Bedeutung sein. PF 1952 fand, daß die Bodenatmung zwischen 1o° und 2o° der 't Hoffschen Regel folgt. Die Temperaturerhöhung fördert auch Entstehung der Humussubstanzen und die Verwitterung der rganischen Bodenbestandteile.

DIE ERTRAGSVERHÄLTNISSE

Methodik.

Den Ertragsergebnissen kommt eine besondere Bedeutung zu, denn sie stellen das landwirtschaftlich wichtigste Kriterium für die Zweckmäßigkeit des Windschutzes dar. Es wird daher zu Recht gefordert, daß auch bei Windschutzversuchen die hochentwickelte Methodik für die Durchführung und Auswertung landwirtschaftlicher Versuche angewandt wird. Bei den vorliegenden Untersuchungen erwies es sich aber als schwierig, diesen Forderungen zu entsprechen. Schon vor dem Aufstellen der Zäune wurden auf allen Wiesen Ertragsbestimmungen (Blankoversuche) durchgeführt. Die Auswertung mit der in der Landwirtschaft in zunehmendem Maße verwendeten Varianzanalyse ergab z.T. Differenzen, die das Maß der Zufälligkeit überschritten, so daß die betreffenden Flächen von der weiteren Bearbeitung mit der Varianzanalyse ausgespart werden mußten.

Auch der Erntevorgang selbst stellt erhebliche Schwierigkeiten. Das Gras trocknet während der Mäh- und Wiegezeit, und dadurch werden die Ergebnisse verfälscht. Bei sonnigem Wetter nahm z.B. das Frischgewicht einer 9 m^2- Parzelle innerhalb 3o Minuten um 5 % ab, obgleich das Gras gehäuft war. Durch blockweises Mähen und Wiegen wurde versucht, diese Fehler so klein wie möglich zu halten. Es bleibt aber die Gefahr, daß die Wiese im Windschutz länger feucht bleibt und dadurch ein Mehrertrag vorgetäuscht wird.

Die Auswertungen ergaben, daß die Leistungsfähigkeit der Varianzanalyse begrenzt ist und nicht schematisch angewendet werden darf. Nach MITSCHERLICH 1933/34 ist die mittlere quadratische Abweichung - und damit arbeitet die Varianzanalyse - nur anwendbar, "wenn die Abweichungen vom jeweiligen Mittelwert verhältnismäßig sehr klein sind, und ferner, wenn sehr viele Beobachtungen vorliegen". Auch wird die Varianzanalyse nicht in einheitlicher Weise angewendet. SCHREINER 1953 zeigt, wie die verschiedenen Methoden zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde die Varianzanalyse im wesentlichen nach dem Beispiel von HANKE und KAISER 1956 und 1957 durchgeführt. Die Differenztabellen wurden nach POST 1952

gestellt, ohne allerdings seine Formel für den t-Test zu utzen, die nach SCHREINER 1953 und BEHRENS 1953 falsch ist. die Darstellung der methodischen Einzelheiten muß hier zichtet werden. Zur allgemeinen Einführung in die Varianz-alyse sei auf MUDRA 1952, zur Auseinandersetzung mit den gumenten MITSCHERLICHS auf LEIN 1948 hingewiesen.

Da die Varianzanalyse nur beschränkt angewendet werden nte, wurden alle Ergebnisse in einer hier " V e r g l e i c h s - t h o d e " benannten Art und Weise ausgewertet. Dabei wer- die Erträge der einzelnen Säulen des Versuches mit Zaun mit en des Versuches ohne Zaun verglichen. Das Verfahren sei am spiel des zweiten Schnittes 1958 der westlichen Flächen in chentellinsfurt erläutert. Zum Vergleich dienen die Ergeb-se des ersten Schnittes 1958.

a) Es wird das mittlere Verhältnis der Freilanderträge beider Schnitte zueinander errechnet :

Freiland-säulen	1. Schnitt kg/a	2. S c h n i t t kg/a	% des 1. Schn.
53 - 5o m	13o.2	86.2	66.2
4o - 37 m	138.o	1o1.5	73.6
Mittel	134.1	93.9	7o.o

Mittel wurde also im Freiland beim zweiten Schnitt 7o % ersten Schnittes geerntet.

b) Es wird die Abweichung der Erträge im Windschutzbereich von diesem Verhältnis (7o %) errechnet :

ndschutz-ilen	1.Schnitt kg/a	7o% d.1.Schn. kg/a	2.Schnitt kg/a	Abweichung v.1. Schn.(7o%-Werte= =1oo)
- 11 m	149.4	1o4.6	89.2	- 14.7 %
- 3 m	132.6	92.8	95.3	+ 2.7 %
ttel	141,o	98.7	92.o	- 6.8 %

e 14 - 11 m Säule hatte einen 14,7 % geringeren Ertrag, die - 3 m Säule einen 2,7 % höheren Ertrag. Im Mittel war der rag im Windschutz um 6,8 % (= 6,7 kg/a) geringer.

c) Bei diesem Vergleich wird angenommen, daß ohne Windschutzzaun von diesen Windschutzsäulen auch 7o % des Ertrages des ersten Schnittes geerntet worden wären. Ein Maßstab dafür, inwieweit die Annahme berechtigt ist, ergibt sich aus der durchschnittlichen Abweichung der einzelnen Freilandsäulenerträge von dem mittleren Verhältnis der Freilandsäulenerträge der zu vergleichenden Schnitte. Zweckmäßigerweise werden hierzu alle Freilandsäulen herangezogen :

Freilandsäulen	1.Schnitt	2. Schnitt		7o.5 % d. 1. Schn.	Abweich.d. 2. Schn.
	kg/a	kg/a	%	kg/a	(7o.5% = 1oo)
53 - 5o w.	13o.2	86.2	66.2	91.8	- 6.1 %
4o - 37 w.	138.o	1o1.5	73.6	97.3	+ 4.3 %
37 - 4o ö.	144.4	1o4.8	72.6	1o1.8	+ 2.9 %
5o - 53 ö.	143.4	99.5	69.6	1o1.1	- 1.6 %
Mittel	139.o	98.o	7o.5		

Die durchschnittliche Abweichung beträgt $\frac{6.1 + 4.3 + 2.9 + 1.6}{4} = 3.7\%$

d) Eine Ertragsdifferenz gilt als gesichert, wenn sie die durchschnittliche Abweichung um mehr als das dreifache übertrifft (MITSCHERLICH 1933/34a). Das ist hier nicht der Fall. Das Ergebnis lautet deshalb : Der Windschutz hat sich auf den Ertrag nicht ausgewirkt.

Bei dieser Methode, aber auch bei den Blankoversuchen der Varianzanalyse tritt also die Frage auf, ob und wieweit die Erträge verschiedener Schnitte verglichen werden können. Entsprechend den veränderten Standortsfaktoren werden die einzelnen Pflanzenarten unterschiedlich bevorzugt oder benachteiligt; selbst geringe Unterschiede in der soziologischen Zusammensetzung bewirken also, daß die Änderung der Ertragsverhältnisse von einem zum anderen Schnitt nicht einheitlich ist. Entsprechend dem hier angeführten Beispiel würden auch die durchschnittlichen Abweichungen der übrigen zu vergleichenden Schnitte berechnet.

ergaben sich

Kirchentellinsfurt :	1. Schnitt 1958 : 1. Schnitt 1959	=2.1 %
	1. Schnitt 1958 : 2. Schnitt 1959	=6.5 %
Weilheim :	1. Schnitt 1958 : 1. Schnitt 1959	=8.2 %
	2. Schnitt 1958 : 2. Schnitt 1959	=9.7 %
f dem Schömberg :	1. Schnitt 1958 : 1. Schnitt 1959	=6.o %
	2. Schnitt 1958 : 2. Schnitt 1959	=9.7 %

e Werte zeigen, daß selbst bei diesen soziologisch verhältnis-ßig homogenen Wiesen mit einem Unsicherheitsfaktor von 5 - 1o % rechnet werden muß. Die zweiten Schnitte weichen mehr voneinan-r ab als die ersten. Bei dem Vergleich des zweiten Schnittes t dem ersten Schnitt des Vorjahres in Kirchentellinsfurt dieren sich etwa der Unterschied der Jahre und der des ersten d zweiten Schnittes.

gebnisse in Frischgewicht.

In K i r c h e n t e l l i n s f u r t (Abb. 112) wurden e östlichen und westlichen Flächen stets getrennt ausgewertet. im ersten Schnitt 1958 konnten die Säulenerträge 19-22 m iderseits des Zaunes aus arbeitstechnischen Gründen nicht be-immt werden. Die Werte der Säule 3 - 6 m östlich des Zaunes im ersten Schnitt 1959 wurden durch einen Arbeitfehler un-auchbar. Der Schutzzaun wurde am 3. Juli, drei Wochen nach dem sten, sieben Wochen vor dem zweiten Schnitt aufgestellt . Es llte untersucht werden, ob sich der Windschutz in der kurzen itspanne bis zum zweiten Schnitt im Ertrag bemerkbar macht. konnte kein gesicherter Mehrertrag festgestellt werden. Das eiche gilt auch für den ersten Schnitt 1959. Der zweite Schnitt 959 ergab einen gesicherten Mehrertrag.

In W e i l h e i m (Abb. 113) wurde der Zaun erst nach dem eiten Schnitt 1958 aufgestellt, so daß 1959 beide Schnitte mit n entsprechenden des Vorjahres verglichen werden konnten. Nur r zweite Schnitt ergab einen gesicherten Mehrertrag.

Auf dem S c h ö m b e r g (Abb. 114) stellten sich beim sten Schnitt 1958 so große Differenzen heraus, daß der Plan r Ertragsflächen geändert werden mußte. Der zweite Schnitt 1958

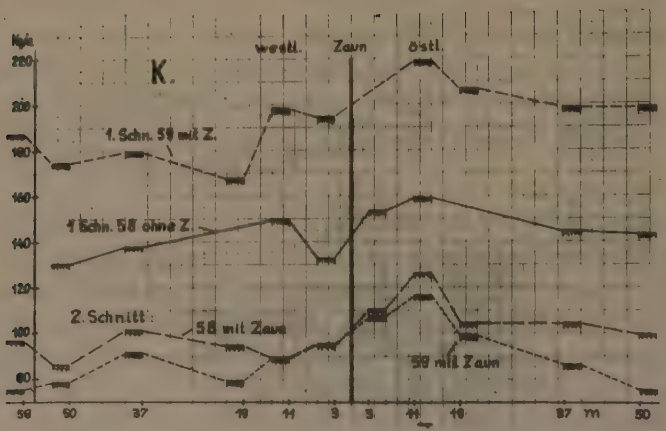


Abb. 112 Die Erträge in Kirchentellinsfurt.

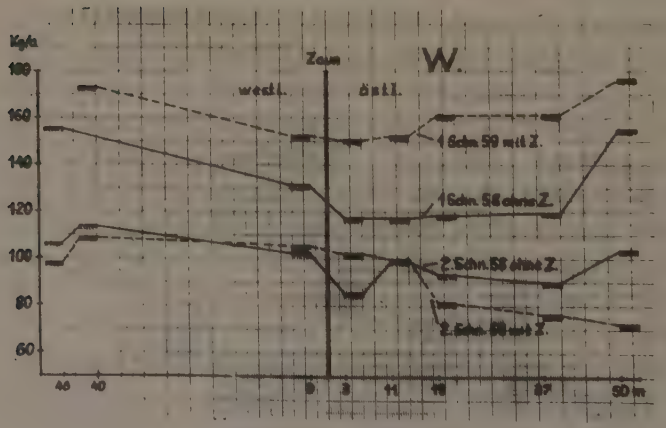


Abb. 113 Die Erträge in Weilheim.

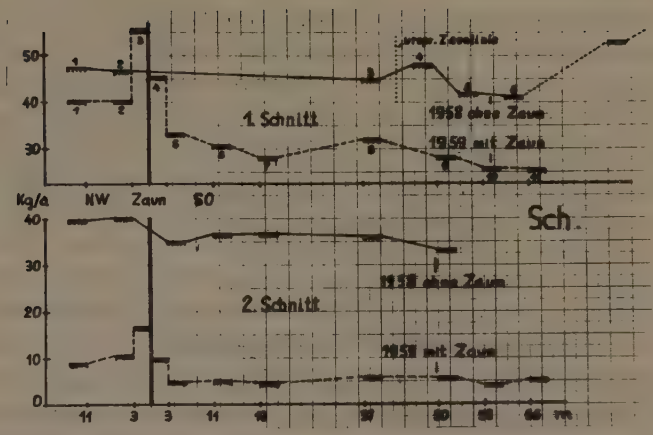


Abb. 114 Die Erträge auf dem Schömberg.

ırde gemäß der neuen Anordnung durchgeführt. Danach wurde der aun aufgestellt. Sowohl erster wie zweiter Schnitt 1959 brachten he Mehrerträge.

Die Abweichungen der Erträge im Windschutzbereich gegenüber em Freiland werden für alle Ertragsbestimmungen in Tab. 17 iedergegeben. Die mit der Varianzanalyse erhaltenen Werte sind berall dort angegeben, wo eine entsprechende Auswertung möglich ar. Die Differenzen zwischen ihnen und den Werten der Vergleichs- ethode sind zum Teil erheblich. Die Ursache liegt vor allem arin, daß die bei den Blankoversuchen sich ergebenden Unter- chiede bei der Varianzanalyse nicht berücksichtigt werden. Ein eispiel dafür sind die Ergebnisse des zweiten Schnittes 1959 1 Weilheim. Die Varianzanalyse ergab hier, daß alle Säulen von 9 - 46 westlich bis 11 - 14 m östlich einen gesicherten Mehr- ctrag aufweisen. Da die Säulen 49 - 46 m und 43 - 4o m aber ıßerhalb des Windschutzbereiches liegen, ist das Ergebnis offen- ichtlich irreführend. Die Berücksichtigung der - statistisch war nicht gesicherten - Unterschiede zwischen den einzelnen

Säulen des bei der Vergleichsmethode herangezogenen zweiten Schnittes 1958 ergibt ein den Verhältnissen besser gerecht werdendes Ergebnis (vergl. die Ertragskurve in Abb. 116). Ähnlich ist es mit dem Ergebnis des ersten Schnittes 1959 in Kirchentellinsfurt bei 11 - 14 m östlich des Zaunes. Mit der Varianzanalyse ergibt sich eine zu 99 % gesicherte Erhöhung von 1o,4 % ± 2,4 %. Die Vergleichsmethode ergibt dagegen keinerlei Änderung; sowohl bei 11 - 14 m als auch im Freiland wurden 1959 137,8 % des ersten Schnittes 1958 geerntet. (Vgl. auch die entsprechenden Ertragskurven der Abb. 112!)

Tabelle 17

Die Erträge in Frischgewicht

Ertragsdifferenzen in % (Freiland = 1oo), errechnet mit der Vergleichsmethode (Vm) und der Varianzanalyse (Va).

		westlich			östlich	
Entf. v. Zaun in m		14 - 11	6 - 3	3 - 6	11 - 14	19 - 2
Kirchentellinsf.						
1958 2. Schn.	Vm	- 15	+ 3	+ 1	+ 12	
	Va			+ 8	+ 23	
1959 1. Schn.	Vm	+ 1	+ 11	-	± o	
	Va				+ 1o	
2. Schn.	Vm	- 6	+ 13	+ 34	+ 31	
	Va			+ 33	+ 44	+ 22
Weilheim						
1959 1. Schn.	Vm		- 3	+ 8	+ 9	+ 15
2. Schn.	Vm		+ 19	+ 39	+ 17	+ 2

Schömberg		westlich			östlich
Entf. v. Zaun in m		14 - 11	6 - 3	3 - o	o - 3
1959 1. Schn.	Vm	+ 35	+ 36	+ 88	+ 54
	Va	+ 4o	+ 4o	+ 93	+ 58
2. Schn.	Vm	+ 5o	+ 74	+ 188	+ 79

Heuerträge.

Bei den meisten Ertragsfeststellungen konnten Trockengehte ermittelt werden. Je Versuchsfeld und Schnitt wurden roben a 3 kg Frischgewicht getrocknet. Wegen der geringen benzahl und der Schwierigkeit, vom Freiland und Windschutz ichwertige Proben zu entnehmen, können diese Messungen nur entierenden Charakter haben. Die Ergebnisse sind in Tabelle enthalten. 1958 und in Weilheim auch noch beim ersten nitt 1959 waren die Trockengewichte im Windschutz höher als Freiland. Das mag auf einem unterschiedlichen Mengenverhältder den Bestand bildenden Arten beruhen. Bei den Ertragsstimmungen, die einen gesicherten Mehrertrag aufweisen, erbt sich aber auf allen Versuchsfeldern übereinstimmend, daß Trockengewichte im Windschutz niedriger sind, d.h. der ckengewichtsmehrertrag ist geringer als der Frischgewichtsrertrag. Das Ausmaß dieser Minderung kann aus diesen wenigen sungen nur mit Vorbehalt auf etwa 1o % geschätzt werden. Das eutet, daß ein 1o %iger Frischgewichtsmehrertrag im Windutz durch das geringere Trockengewicht mehr als aufgewogen d. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei anderen Windschutzersuchungen; KREUTZ 1952c z.B. fand, daß bei Rüben die Erngssteigerung des Trockengewichtes nur etwa halb so groß war die des Frischgewichtes.

Halmlängen.

Als Ergänzung zu den Ertragsbestimmungen wurden im Sommer 59 auf allen Versuchsflächen kurz vor dem 1. Schnitt Halmgen gemessen. Im Neckartal wurde die Länge der 1o höchsten me von Arrhenatherum elatius und Trisetum flavescens von er Einzelfläche bestimmt, so daß die Halmlänge für jede le aus insgesamt 8o Werten gemittelt wurde. Auf dem Schömg konnten die Messungen nur an Bromus erectus durchgeführt den, eine zweite Art war nicht genügend zahlreich vorhanden. Messergebnisse zeigt Abb. 115. Für Kirchentellinsfurt und lheim ergibt der Kurvenverlauf keinerlei Übereinstimmung mit Ertragsergebnissen. Auf dem Schömberg entsprechen nur die mlängen in unmittelbarer Zaunnähe dem höheren Ertrag, sie

T a b e l l e 18

Die Trockengewichte (in % des Frischgewichts).

	Freiland		Windschutz		
	Einzelprobe	Mittel	Einzelprobe	Mittel	in Frld
Kirch'f.					
2.Schn. 1958	26,9		29,5		
	28,7	27,8	31,6	3o,6	11o
1.Schn. 1959	29,4		-		
	29,4	29,4	27,4	27,4	93
2.Schn. 1959	31,2		26,7		
	3o,o	3o,6	25,9	26,3	86
Weilheim					
2.Schn. 1958	25,8		26,7		
	23,7	24,8	26,3	26,5	1o7
1.Schn. 1959	24,3		26,9		
	27,5	25,9	27,2	27,1	1o5
2.Schn. 1959	26,3		25,3		
	3o,o	28,2	26,5	25,9	92
Schömberg					
1.Schn. 1959	65,7		58,8		89

sind rund 2o cm höher als im Freiland. Es war geplant, im Som 196o einen Blankoversuch nachzuholen (die Zäune wurden nach de 2. Schnitt 1959 entfernt), doch war die Halmentwicklung auf allen Flächen so gering, daß ein sinnvoller Vergleich zum Vorjahr nicht möglich war. Der Wert solcher Messungen als Erganzu oder als Ersatz von Ertragsbestimmungen ist also auf Wiesen se fragwürdig. Bei Getreide dagegen hat Th. MÜLLER 1956 brauchbar Ergebnisse erzielt.

Diskussion und standörtliche Bewertung.

In der Abb. 116 werden die gesicherten Mehrerträge zusammen fassend dargestellt. Die den Erwartungen am meisten entsprech de Ertragskurve weist der 2. Schnitt 1959 in Weilheim auf. In

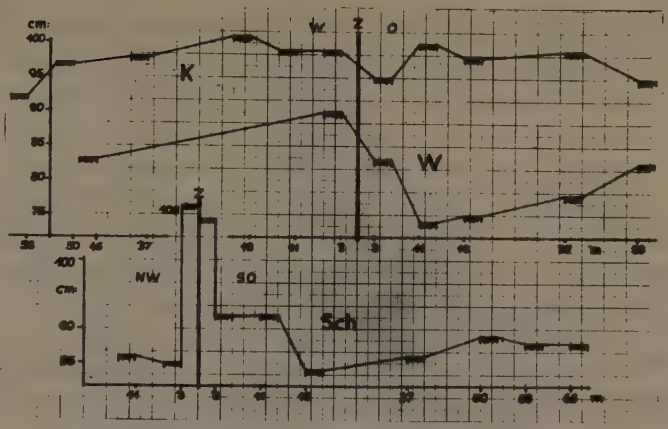


Abb. 115 Die Halmlängen beim 1. Schnitt 1959 in Kirchentellinsfurt, Weilheim und auf dem Schömberg.

Übereinstimmung mit den ökologischen Kurven (Wind Abb. 36, Verdunstung Abb. 71, Bodenfeuchte Abb. 75) nimmt hier der Mehrertrag auf beiden Seiten des Zaunes rasch ab. Bei 2o m Entfernung ist auch in Lee keine Windschutzwirkung mehr erkennbar. Die Ergebnisse auf dem Schömberg überraschen in zweierlei Weise. Einmal wirkt sich der Windschutz südöstlich des Zaunes auf eine nur sehr geringe Entfernung aus, zum anderen ist der Mehrertrag in unmittelbarer Zaunnähe außerordentlich hoch. Ersteres ist durch die ungünstige Lage des Zaunes zur Hauptwindrichtung weitgehend erklärbar. Wenn auch die genauen Windverhältnisse während der Vegetationsperiode nicht so wie für Weilheim ermittelt werden konnten, so ist doch aufgrund der Großwetterlagen sicher, daß senkrecht auf den Zaun treffende NW-Winde selten waren. Es herrschten aber überdurchschnittlich viel östliche Winde, so daß sich der Windschutzbereich hauptsächlich nordwestlich des Zaunes ausbildete. Bei allen Versuchsflächen ergab sich, daß sich der Windschutz beim 2. Schnitt stärker als beim 1. Schnitt auswirkte.

Im Neckartal konnten gesicherte Mehrerträge nur beim 2. Schnitt festgestellt werden.

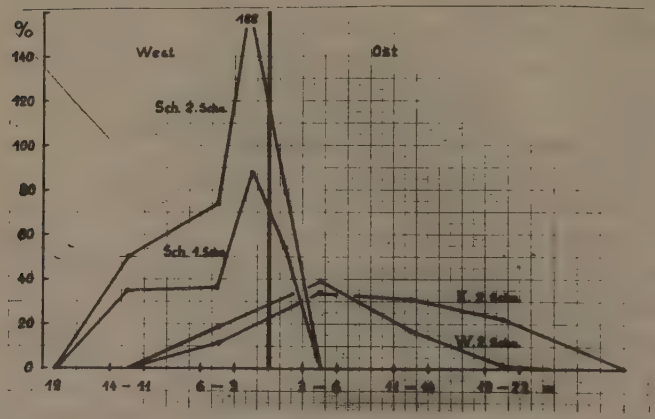


Abb. 116 Die gesicherten Mehrerträge in Kirchentellinsfurt, Weilheim und auf dem Schömberg.

Es war schon mehrfach betont worden, daß die Wirksamkeit des Windschutzes sehr von Klima und Witterung abhängen. Nach der Beschreibung des Klimas ist es zur Beurteilung der Ertragsergebnisse noch notwendig, den Witterungsablauf und seine Einflüsse auf die Vegetationsentwicklung in den beiden Versuchsjahren 1958 und 1959 zu charakterisieren[1]. Die Grundlagen dazu bilden die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert. Sie werden in der Abb. 117 für die Lufttemperatur, den Niederschlag und die Bewölkung dargestellt. Für die Vegetationsperiode 1959 sei auch auf die Aufzeichnung des Witterungsablaufes der Abb.78 hingewiesen.

---

1) Nach eigenen Beobachtungen und Wetterberichten des Wetteramtes Stuttgart.

n J a h r 1 9 5 8 nimmt die Witterung im großen und ganzen
inen recht günstigen Verlauf. Im Winter waren so viele Nieder-
chläge gefallen, daß für die Frühjahrsentwicklung der Pflanzen
enügend Bodenfeuchtigkeit vorhanden war. Durch die kühle
itterung im März und April wurde die Vegetation zunächst auf-
halten; der Mai war aber so günstig, daß der Wachstumsverlust
hr als aufgeholt wurde. Die Heuernte war nach Menge und
alität gut bis sehr gut. Die geringen Niederschläge im Juni
hrten dann zu einem Bodenfeuchtedefizit, das auch im Juli
d August nicht aufgeholt wurde. Der zweite Schnitt brachte
te Erträge. Im September begann die herbstliche Auffüllung
s Bodenwasservorrats. Insgesamt war die Vegetationsperiode
pril bis September) wärmer und etwas trockener als im lang-
hrigen Durchschnitt. Die Abweichungen betragen:

	Tübingen	Schopfloch
Lufttemperatur °C	+ o,8	+ o,4
Niederschlag %	- 1	- 14 (Genkingen)
Bewölkung (in Zehntel)	+ o,5	- o,2

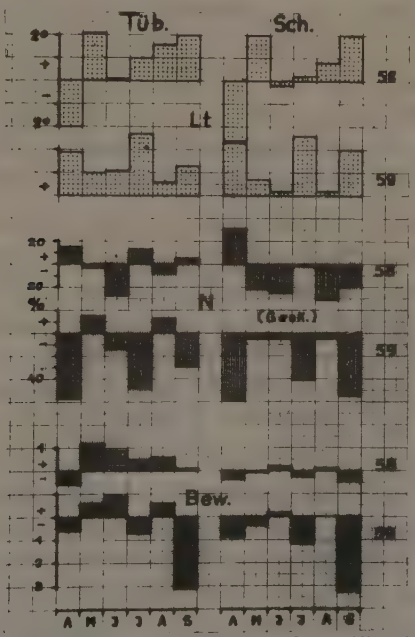


Abb. 117 Abweichungen von langjährigen Mittel in Tübingen und Schopfloch (für Niederschlag Genkingen) 1958 und 1959. Lt Lufttemperatur, N Niederschlag, Bew. Bewölkung.

Das J a h r 1 9 5 9 ist durch Wärme und außerordentliche Trockenheit gekennzeichnet. Durch minimale Niederschläge im Februar (Tübingen 6 mm, Genkingen 9 mm) sinkt der Wassergehalt des Bodens bereits im März beträchtlich . Im Gegensatz zum Vorjahr wird die Frühjahrsentwicklung der Vegetation beschleunigt, bis durch die Nachtfröste um den 2o. April erhebliche Schäden verursacht werden. Die Heuernte ergibt im allgemeinen 7o - 8o % des langjährigen Durchschnitts, auf den Versuchsfeldern im Neckartal jedoch mehr; die Qualität ist gut. Der Nachwuchs ist durch die anhaltende Trockenheit mangelhaft, besonders das Untergras ist schlecht ausgebildet. Im Juli nimmt das Niederschlagsdefizit zu, und durch die überdurchschnittlich hohen Temperaturen wird es in seiner Auswirkung noch verschärft. In Stuttgart-Hohenheim wird das langjährige Mittel der Bodenfeuchte um 44 % unterschritten. Die etwas stärkeren Regenmengen im August reichen für eine nachhaltige Durchfeuchtung nicht aus. Die Ernte des zweiten Schnittes bringt im Neckartal trotzdem noch fast den gleichen Ertrag wie im Vorjahr, auf der Alb ist jedoch auf Hang- und Trockenlagen oft kein zweiter Schnitt mehr möglich. Die Versuchsfläche auf dem Schömberg ergibt nur 5 kg/a Frischgewicht, das sind 15 % des Vorjahres. Im ungewöhnlich sonnenreichen, warmen und niederschlagsarmen September erreicht die Bodenaustrocknung ihren Höhepunkt. Für die Vegetationsperiode (April bis September) betragen die Abweichungen vom langjährigen Mittel :

	Tübingen	Schopfloch
Lufttemperatur °C	+ 1,4	+ 1,3
Niederschlag %	- 18	- 24
Bewölkung (in Zehntel)	- o,4	- o,9

Dieser Witterungsablauf muß in Beziehung gesetzt werden zu den optimalen, d.h. für hohe Erträge notwendigen Witterungsbedingungen. Im allgemeinen gilt (in unseren Klimaverhältnissen), daß in der ersten Wachstumsphase eine höhere Lufttemperatur, für die Zeit des stärksten Wachstums dagegen eine hohe Bodenfeuchtigkeit wichtig ist. Da für den 1. Schnitt der Wasservorra

ies Bodens zusammen mit den Niederschlägen meistens ausreicht, die Temperaturgunst aber mehr beim 2. Schnitt vorhanden ist, folgt, daß für den 1. Schnitt die Lufttemperatur, für den 2. Schnitt die Bodenfeuchte eine größere Rolle spielt (BROUWER 1930 b, ATANASIU 1950).

Im warmen Neckartal kommt die Temperaturgunst des Windschutzbereiches wahrscheinlich nicht zu voller Wirksamkeit. Von Interesse ist hier die Angabe von SCHNELLE 1948, daß das Lufttemperaturoptimum mancher Kulturen, darunter auch der Gräser, unter 20° liegt. Für das Versuchsjahr 1959 kommt hinzu, daß alle Monate der Vegetationszeit, namentlich der für die Jugendentwicklung wichtige April, wärmer als im langjährigen Mittel waren.

Auf der Alb wird die Temperaturerhöhung des Windschutzes eine größere Bedeutung haben. In diese Richtung weist der relativ hohe nutzbare Wassergehalt vor dem 1. Schnitt 1959. Auch kann damit in Zusammenhang gebracht werden, daß die extrem hohen Erträge auf die unmittelbare Zaunnähe (0 - 3 m) beschränkt waren, denn hier befindet sich ja das Lufttemperaturmaximum.

Die Mehrerträge des 2. Schnittes müssen vorwiegend unter dem Aspekt der außergewöhnlichen Trockenheit beurteilt werden. Das Wasser wurde zum Minimumfaktor und die Bodenfeuchteerhöhung im Windschutz erreichte hohe Prozentwerte des aktuell nutzbaren Wassergehaltes. Die Ertragserhöhungen waren also größer als bei durchschnittlichem Witterungsablauf erwartet werden kann.

Zusammenfassend ergibt sich für das Neckartal, daß mit sicheren Mehrerträgen durch Windschutz nicht gerechnet werden kann. Bis zum 1. Schnitt machen die Wasserreserven des tiefgründigen Bodens die Wiesen relativ unabhängig von den Niederschlagsverhältnissen und dem Verdunstungsschutz durch Windhindernisse. Eventuell ist bei kaltem Frühjahr mit einer geringen Ertragserhöhung zu rechnen. Der 2. Schnitt wird häufiger einen Mehrertrag bringen. Im langjährigen Durchschnitt werden die Ertragserhöhungen voraussichtlich jedoch unter der Rentabilitätsgrenze bleiben.

Auf dem Schömberg wird auch in weniger trockenen Jahren eine Windschutzanlage zweckmäßig sein. Ähnliches gilt für andere Teile der Alb, denn weite Gebiete haben eine flachgründige Bodendecke. Der Schömberg liegt zwar unmittelbar

am Steilabfall der Alb und erhält deshalb höhere Niederschläge, er ist aber auch stärkeren Winden ausgesetzt. Einschränkend muß hier berücksichtigt werden, daß sich die untersuchten Wiesen in einem schlechten Pflegezustand befinden. Es muß angenommen werden, daß der relative Mehrertrag mit günstigeren Pflegeverhältnissen kleiner wird. (Vgl. das Wirkungsgesetz der Wachtumsfaktoren, MITSCHERLICH 1948 und 1955).

Die auf Wiesen gefundenen Verhältnisse können nicht ohne weiteres auf andere Kulturen übertragen werden. Auf der Alb fand Th. MÜLLER 1956 bei Kartoffeln und Gerste zwar auch beachtliche, aber keinesfalls so extrem hohe Mehrerträge.

Eine eingehende Analyse müßte der Frage nachgehen, welche physiologischen Einflüsse im einzelnen für die Entstehung des Mehrertrages maßgebend waren. Dazu bedarf es jedoch einer laufenden Registrierung aller infrage kommenden Faktoren. Die Wirkung der Witterungsfaktoren auf die Wiesenerträge untersucht ausführlich BROUWER 1930 a und b - allerdings z.T. mit Gräsern im Reinbestand, deren physiologische Reaktion nicht dem ökologischen Verhalten gleichgesetzt werden darf (ELLENBERG 1952 b). Eine zusammenfassende Darstellung der für hohe Wiesenerträge notwendigen Witterungsbedingungen gibt SCHNELLE 1948; KLAPP und BOEKER 1956 beziehen auch die edaphischen Faktoren mit ein. Ähnliche, aber nicht auf Wiesen beschränkte Analysen geben u.a. HAUDE 1948 und 1950, BERKNER 1950, ATANASIU 1950 und BAUMANN 1952. Die wechselnde Empfindlichkeit und die kritischen Zeiten im Entwicklungsgang der Pflanzen berücksichtigen besonders die Arbeiten von BAUMGARTNER 1950 und THRAN 1948 und 1952.

Wenn die hinter Kokosfasermatten erhaltenen Ergebnisse auch im großen und ganzen auf natürliche Hecken übertragen werden können, so sei doch darauf hingewiesen, daß sich in einzelnen Dingen eine Änderung ergibt. Zunächst ist wesentlich, daß sich bei den Hecken die W i n d d u r c h l ä s s i g k e i t im Laufe ihres Wachstums, mit den Jahreszeiten und mit der Windstärke ändert und damit auch die Windverteilung im Schutzbereich und deren mikroklimatische Folgeerscheinungen einem dauernden Wechsel unterworfen sind. Nicht gepflegte Hecken werden außerdem bald zu dicht sein, bald sich als Winddüsen auswirkende Lücken

fweisen und dadurch von ihrer potentiellen Wirksamkeit ver-
eren. Positiv auf die Strömungsverhältnisse wirkt sich die
ruhige F i r s t l i n i e und die größere H ö h e aus.
nn auch die Reichweite nicht streng linear mit der Höhe
chst, so ist doch von Bedeutung, daß die effektive Hindernis-
he nicht so stark wie bei dem nur 2 m hohen Zaun mit der zu-
hmenden Bestandshöhe sinkt.

Ein zweiter Komplex betrifft die Zone nahe am Schutzstrei-
n. Die W u r z e l k o n k u r r e n z der Sträucher und
ume vermindert die Ertragshöhe gerade in dem Bereich, wo die
ndschutzwirkung am kräftigsten ausgeprägt ist und besonders
he Mehrerträge erwartet werden könnten. Die Hecken sind auch
ärkere W ä r m e s p e i c h e r , was sich auf die nächt-
chen Temperaturen und den Taufall auswirken muß. Fraglich
eibt, ob sich das Tagesmaximum der Lufttemperaturen ebenso
he an der Hecke wie am Kokosfaserzaun einstellt.

Z U S A M M E N F A S S U N G .

In den Jahren 1958 - 1960 wurden bei Kirchentellinsfurt und Weilheim, beide im Neckartal bei Tübingen, und auf dem Unteren Schömberg auf der Schwäbischen Alb, Kreis Hechingen, Windschutzversuche mit 2 m hohen Zäunen aus Kokosfasermatten durchgeführt. Das Neckartal weist schwache Winde, hohe Sommertemperaturen und geringe Niederschläge, der Schömberg mäßige Winde, geringe Extremtemperaturen und mittlere Niederschläge auf.

Die Standorte.

K i r c h e n t e l l i n s f u r t : Versuchsfläche (305 m) etwa in der Mitte des gelegentlich überfluteten 500 m breiten Tales, dessen Hänge beiderseits steil ansteigen. Gut gepflegte Salbei-Glatthaferwiese mit vereinzeltem Rohrschwingel auf stark kalkhaltiger Brauner Vega. pH 7,3. Grundwasser in der Vegetationsperiode 120 cm unter Flur. Durchschnittlicher Ertrag 70 dz/ha.

W e i l h e i m : Versuchsfläche (325 m) am Nordrand des 1 500 breiten Tales, das durch die Neckarkorrektionen nicht mehr überflutet wird. NW- und N- Winde werden durch den vorgelagerten Spitzberg abgehalten. Gut gepflegte Trespen-Salbei-Glatthaferwiese auf stark kalkhaltiger Parabraunerde. pH 7,4. Grundwasser in der Vegetationsperiode 320 cm unter Flur. Durchschnittlicher Ertrag 60 dz/ha.

S c h ö m b e r g : Versuchsfläche (840 m) auf einer flach gewölbten Hochfläche am Steilabfall der Alb. Schlecht gepflegte Übergangsgesellschaft vom Magerrasen zu submontaner Fettwiese auf schwach kalkhaltiger Verbraunter Rendzina. pH 6,0. Durchschnittlicher Ertrag 25 dz/ha.

Soziologische Untersuchungen.

Die nach den Ertragsbestimmungsflächen gegliederten soziologischen Aufnahmen ergaben eine im großen und ganzen homogene Zusammensetzung der Versuchswiesen. Ihre Stellung im System wird erörtert. Mit Hilfe der Gruppenanteile der Feuchte- und Trockenzeiger und der Bodenfeuchtemessungen vor Aufstellung der Zäune wird die standörtliche Homogenität näher geprüft. Untereinander werden die Wiesen verglichen durch mittlere ökologische Wertzahlen und ökologische Spektren.

Ökologische Untersuchungen.

W i n d : Etwa 1ooo zehnminütige Messungen mit Schalenkreuzanemometern 2o cm über niedrigem Bestand. Der Wind wird bei senkrechter Anblasung bis 5o % der Freilandstärke abgeschwächt. Bei schwachem Wind liegt das Minimum näher am Zaun und ist stärker ausgeprägt als bei starkem Wind. Hinter dem Minimum überkreuzen sich die prozentualen Windverteilungskurven des schwachen und starken Windes, so daß in größerer Entfernung vom Zaun die Windabschwächung bei stärkerem Wind größer ist. Die Reichweite der Schutzwirkung beträgt etwa 7o m, bei 5o m wurde noch eine 1o %ige Abschwächung gemessen. In Zaunnähe sind die Strömungsverhältnisse stark von der Windstärke abhängig, bei o,5 m Lee gibt es ein gesondertes Windminimum. Die unterschiedlichen Schwankungen der Windgeschwindigkeit an den einzelnen Meßstellen erlauben Rückschlüsse auf den Turbulenzgrad des Windes und führen zur Aufstellung bestimmter Turbulenzbereiche, die sich räumlich nicht mit dem Bereich verminderter Windgeschwindigkeit decken. Zur Ermittlung der Schutzwirkung eines längeren Zeitraumes wurde für das Versuchsfeld Weilheim eine Analyse der Windstärke und -richtung für 12 Monate anhand der Daten der meteorologischen Station Tübingen vorgenommen. Es ergibt sich eine Windverteilungskurve, die ein Minimum von nur 25 %iger Abschwächung in Zaunnähe aufweist und bei 4o m die Freilandgeschwindigkeit praktisch erreicht hat. Für die ökologische Fragestellung ist es zweckmäßig, die mittägliche Windstärke und -richtung gesondert zu ermitteln. Der Anteil der östlichen Winde war in diesem Fall gegenüber den Tagesmittelwerten erheblich höher. Windmessungen in verschiedener Höhe ergaben, daß an der Bestandsoberfläche Windgeschwindigkeiten von etwa o,4 m/sec im Tagesmittel und o,8 m/sec im Mittagsmittel herrschen.

S c h n e e v e r w e h u n g e n : Im Neckartal wurden fünf, auf der Alb zwei Schneeprofile gemessen. Die Schneeansammlungen reichen bis 6 m beiderseits des Zaunes. Bei der Schneeschmelze wird der Tauvorgang im Windschutzbereich verzögert, so daß sich aus der Kartierung der Rückzugsstadien Hinweise auf die Intensitätsbereiche des Windschutzes ergeben.

N i e d e r s c h l a g : Messungen in dreiwöchigem Abstand mit Hellmannschen Regenmessern . In Kirchentellinsfurt fielen 2,5 %,

in Weilheim 1,6 % weniger Niederschläge als auf der Station Tübingen; der Schömberg erhielt ebensoviel Niederschläge wie die benachbarte Station Genkingen. Freiland und Windschutz konnten nur im Neckartal verglichen werden: 16 mal war im Windschutz mehr, 7 mal weniger und 3 mal gleichviel Niederschlag gefallen. Im Jahresdurchschnitt erhielt die Windschutzmeßstelle in Kirchentellinsfurt o,5 %, in Weilheim 1,8 % mehr Niederschlag als das Freiland. Die maximale Erhöhung einer Messung betrug 9 %.

T a u : Messungen in 34 Nächten mit 16 Leickschen Tauplatten dicht über dem Bestand. Fast stets war der Taufall im Windschutzbereich höher, mit Ausnahme des zaunnahen Raumes, wo er ebenso regelmäßig niedriger war. Im windschwachen, taureichen Neckartal überwiegt die Erhöhung nur wenig die Erniedrigung. Auf dem windreicheren Schömberg kann die Tauerhöhung bedeutend sein, insbesondere dann, wenn im Freiland nur wenig Tau fällt.

V e r d u n s t u n g : An 7o Tagen 2 ooo Einzelmessungen mit Piche-Evaporimeter 1o cm über dem Bestand. Die prozentuale Verdunstungsminderung wird stark von der Windstärke und dem Sättigungsdefizit beeinflußt. Die stärkste Verminderung wurde bei starkem Wind und geringem Sättigungsdefizit mit 4o %, die schwächste bei schwachem Wind und hohem Sättigungsdefizit mit 15 % gemessen; sie ist in den für die Pflanze kritischen Zeiten also gering. In Zaunnähe überlagert die Schattenwirkung die Windabschwächung. Eine durchlaufende Messung über 45 Tage im April bis Juni, also bei Berücksichtigung aller Windrichtungen, ergab eine 12 %ige Verdunstungsminderung bis 1o m, eine 4 %ige bis 2o m.

L u f t t e m p e r a t u r und L u f t f e u c h t e : Stündliche Messungen an 13 Tagen mit einem Schleuderpsychrometer. Die Lufttemperatur zeigte im Windschutz gegenüber dem Freiland im Tagesmittel Erhöhungen von o° bis o,5°, bei Extremwerten Änderungen von - 1,2° bis + 1,1°. Für die relative Luftfeuchtigkeit gelten entsprechend : Tagesmittel -o,9 % bis + 4,o %, Extremwerte -4,5 % bis + 1o,5 %. Aus den unterschiedlichen Veränderungen von Lufttemperatur, absoluter und relativer Luftfeuchte und Sättigungsdefizit im Windschutz ergeben sich 7 Typen, die bestimmten Wetterverhältnissen zugeordnet werden können. Das Lufttemperatur-

imum ist gegenüber dem Windminimum und dem Luftfeuchtemaximum Zaun hin verschoben; daher stellen sich auch in verschieer Entfernung vom Zaun verschiedene Typen ein.

d e n f e u c h t e : Zur Bestimmung wurden vom Mai 1958 September 1959 alle drei Wochen Bodenproben entnommen, zwar in 5 und 15 cm Tiefe in sechs Entfernungen vom Zaun mit je drei Wiederholungen (Parallelmessungen). Als is zur Beurteilung diente die mittlere Bodenfeuchteverlung von 5 Meßreihen ohne Zaun. Im Windschutz (3 m Lee) war die enfeuchte im Jahresmittel in Kirchentellinsfurt und auf Schömberg 2 Vol.%, in Weilheim 1 Vol.% höher, maximal in chentellinsfurt 5 %. Die Erhöhung reicht bis 1o m beiderts des Zaunes, im Ausnahmefall auch bis 2o m. Im Winter rug die durchschnittliche Erhöhung o,5 %, im Sommer 2,7 %. langen Trockenperioden lassen sich gesetzmäßige Zusammenge zwischen der Bodenfeuchte im Freiland, ihrer Differenz schen 5 und 15 cm und der Erhöhung im Windschutz ermitteln. Zaun wirkt deutlich als Regenfänger, auf dem Schömberg der Wassergehalt direkt unter dem Zaun bis 12 Vol.% geger als 1 m davon entfernt. Zur Einschätzung der ökologischen Bedeutung der Bodenfeuchteerhöhung wurden die Werte Beziehung zur nutzbaren Wasserkapazität und zum aktuell tzbaren Wassergehalt gesetzt.

c h t l i c h e L u f t t e m p e r a t u r : Messungen in ächten an je einer Meßstelle im Windschutz und im Freiland in hs Höhen zwischen 5 und 2oo cm mit Hg-Thermometern bei vierstündlicher Ablesung. Im Windschutz war es stets kälter. Die erkühlung setzte mindestens eine Stunde vor Sonnenuntergang , war in den ersten Stunden nach Mitternacht maximal und blieb zwei Stunden nach Sonnenaufgang nachweisbar. Am stärksten war ausgeprägt in Strahlungsnächten bei Windgeschwindigkeiten um /sec. in der Höhe des Temperaturminimums. Maximal betrug sie einer Einzelmessung 4,1°, im Durchschnitt einer Nacht 1,9°.

Bei Bewölkung wird sie geringer. Die Zone stärkster Unterkühlung wandert mit abfallendem Wind vom Boden der Wiese bis über den Bestand. Sie liegt jeweils in der Höhe, in der sich die Windgeschwindigkeitsdifferenz zwischen Freiland und Windschutz im Bereich des Übergangs zur Windstille befindet. Es gibt eine kritische Windstärke, bei der im Windschutz das vom Boden abgehobene Temperaturminimum entsteht, im Freiland aber der Massenaustausch seine Bildung verhindert und dadurch extreme Unterkühlungen entstehen. Sie müssen jedoch nicht zwangsweise zu erhöhter Frostschadengefahr führen, denn die Tiefsttemperaturen der Nacht sind häufig mit Luftruhe verbunden. Die Zusammenhänge zwischen der Unterkühlung im Windschutz und dem Inversionsgradienten werden erörtert. Ergänzend wurden in 33 Nächten mit 1o Thermometern die Minimumtemperaturen gemessen. In 19 Nächten war es im Windschutz kälter (in der Regel o,5° - 1,o°), in 8 Nächten wurde nur die durch die Ausstrahlungsbehinderung verursachte Temperaturerhöhung in Zaunnähe beobachtet und in 6 Nächten war keinerlei Einfluß festzustellen.

B o d e n t e m p e r a t u r e n : 2 5oo Messungen an 2o Tagen und in 4 Nächten mit Hg-Thermometern. Am Tage war es im Windschutz immer wärmer, im Durchschnitt bei 2 cm 2°, bei 15 cm o,4°. In Zaunnähe verursacht die Sonnen- und Schattenwirkung Differenzen bis 3,2° (bei 5 cm). Nachts wirkt sich die Unterkühlung im Windschutz nur geringfügig auf die oberste Bodenschicht (o - 2 cm) aus, in tieferen Schichten bleibt die Tageserwärmung z.T. erhalten.

Ertragsbestimmungen.

Grundlage der Beurteilung bilden die Blankoversuche des Jahres 1958. Die Auswertung mit der Varianzanalyse war teils wegen großer Streuungen der Ergebnisse der Blankoversuche nicht möglich und erbrachte teils irreführende Ergebnisse. Die Erträge wurden deshalb in einer Vergleichsmethode benannten Art ausgewertet. Im Neckartal wies nur der 2. Schnitt gesicherte Mehrerträge auf, und zwar von 1o m westlich bis 2o m östlich des Zaunes im Mittel 2o %, in Zaunnähe bis 4o %. Auf dem

Schömberg ergaben beide Schnitte große Ertragserhöhungen : von 2o m westlich bis (nur!) 4 m östlich beim 1. Schnitt im Mittel 4o %, beim 2. Schnitt 8o %. Auffällig sind die extremen Werte in unmittelbarer Zaunnähe (o - 3 m) : beim 1. Schnitt 9o %, beim 2. Schnitt 19o %. Für die Heuerträge muß nach orientierenden Trockengewichtsbestimmungen ein 1o % geringerer Mehrertrag angenommen werden. Messungen von Halmlängen zeigten nur auf dem Schömberg eine beschränkte Übereinstimmung mit den Gewichtsbestimmungen.

Im Neckartal kann im allgemeinen nicht mit sicheren und die Nachteile der Windschutzstreifen ausgleichenden Mehrerträgen gerechnet werden, die Erhöhungen beim 2. Schnitt wurden zum großen Teil durch die außergewöhnliche Trockenheit des Jahres 1959 bedingt. Auf dem Schömberg und ebenso auf weiten Gebieten der Schwäbischen Alb wird dagegen ein Windschutz zweckmäßig sein. Besonderes Augenmerk ist dabei den östlichen Winden zu widmen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Aichele, H. 1950, Kleinklim. Untersuchungen am Wartenberg Meteor. Rundschau 3.

Albrecht, F. 1951, Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der nat. Erdoberfläche. Arch. Meteor. Geoph. Biokl. Serie B, Bd. 2

Andrianoff, P.I. 1928, "Der Koeffizient des Welkens" und andere Feuchtigkeitswerte des Bodens. Z.f. Pflz.-ern., Düng. und Bodenk. 12

Arzt, Th. 1950, Mikroklimat. Untersuchungen über Windschutz in einem Kulturpflz.bestand. Phyton 2.

Assmann, R. 1910, Die Winde in Deutschland. Braunschweig.

Atanasiu, N. 1950, Beziehungen zwischen klimat. Wachstumsfaktoren und Ernteertrag. Z.f. Pflz.-ern., Düng. und Bodenkunde 49

Atanasiu, N. 1952, Die Wasserversorgung unserer Kulturpflz. in Abhängigkeit von Klima und Boden. Ber. d. deutschen Wetterdienstes US Zone.

Baier, W. 1952a, Ergebnisse von Bodenfeuchteuntersuchungen in Stuttgart-Hohenheim. Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone. Nr. 37.

" 1952b, Ergebnisse von Bodentempmess. Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone Nr. 38.

Bartels, I. 1933, Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit und Sickerwasser unter natürlichen Verhältnissen. Z.f. Forst- und Jagdwesen.

Bauer, A.F. 1957/58, Agrarmeteor. Untersuchungen über die nächtl. Wiesenunterkühlung innerhalb norddeutscher Feldgemarkungen. Wiss. Z.d. Univ. Rostock, 7. Math.-nat. Reihe, Heft 3.

" 1958/59, Über die nächtl. Temp.-struktur der bodennahen Luftschicht über norddeutschen Grünlandflächen. Wiss. Z.d. Univ. Rostock, 8. Math.-nat. Reihe, Heft 8.

Baumann, H. 1949, Die konstitutionelle Anpassung der Kulturpflz. an die Wasserversorgung. Z.f. Pflz.-ern., Düng. und Bodenkunde 46.

" 1951, Wasserversorgung und Ertragsbildung. Z.f. Acker- und Pflz.-bau 93.

" 1952a, Normen zur Erfassung des Witterungsablaufes im landwirtschaftlichen Versuchswesen und Erfassung der Beziehung zwischen Witterungsablauf und Ernteertrag. Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone 5, Nr. 32.

" 1952b, Die Bodenfeuchtebestimmung und ihre Auswertung für die Landwirtschaft. Ibid. Nr. 32.

Baumbach, S. 1952, Vergleichsmessungen mit verschiedenen Verdunstungsmessern unter definierten Versuchsbedingungen. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone Nr. 35.

aumgartner, A. 195o, Methodisches zur Darstellung des Witterungseinflusses auf den Verlauf der Pflz.-entwicklung. Meteor. Rundschau 3.

achmann, F. 1924, Über die Beziehungen zwischen dem Wassergehalt des Bodens und seinem Wasserdampfdruck, sowie über diejenigen zwischen der Saugkraft des Bodens und dem Welken von Pflz. Planta 4.

ehrens, W.N. 1953, Zur Anwendung der Varianzanalyse. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 97,2.

ergerhoff, H. 1955, Grenzen und Möglichkeiten der natürlichen Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturen aus oberflächennahen Grundwasservorkommen unter bes. Berücksichtigung bisheriger Beobachtungen am linken Niederrhein. Z.f. Acker- und Pflz.-bau 99, H. 1.

erger - Landefeldt, U. u. Kiendl, I. u. Danneberg, H. 1956, Beobachtungen des Temp.- und Feuchtigkeitsgeschehens über Pflz. best. Meteor. Rundschau 9.

erkner 195o, Die Beziehungen zwischen Pflz.bau und Witterungsablauf. Z. f. Acker- und Pflz.bau 93, H.1.

lenk, H. 1952, Aerodynamische Untersuchungen zum Windschutzproblem. Umschaudienst des Forschungsausschusses "Landsch.pflege u. Landsch.gestaltung" d. Akad. f. Raumforsch. u. Landesplanung. H. 5/6.

" 1953, Stömungstechnische Beiträge zum Windschutzproblem. Landtechn. Forsch. 3.

" u. Trienes, H. 1956, Strömungstechnische Beiträge zum Windschutz Grundlagen der Landtechnik. H. 8.

oguslawski, E.v. 1941, Untersuchungen über den Einfluß des Feinerdegehaltes der Pflz. best. dichte und der Pflz.art auf die Aufnahme und Verwertung des Bodenwassers. Z.f. Bodenk. u. Pflz.ern. 24.

ornkamm, R. 1958, Standortsbedingungen und Wasserhaushalt von Trespen-Halbtrockenrasen (Mesobromion) im oberen Leinegebiet. Flora 146.

oss, G. 1952, Die Brauchbarkeit des Piche - Evaporimeters bei Verdunstungsmessungen. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone 5, Nr. 35.

rasse, V. 1954, Die Beeinflussung des Bodenklimas durch Windschutz. Diss. Gießen.

raun - Blanquet, I. 1946, Über den Deckungswert der Arten in den Pflz.gesellschaften der Ordnung Vaccino - Piceetalia. Sigma Nr. 9o.

" 1951, Pflanzensoziologie. Berlin.

ringmann, K. 1956, Die Arbeit eines Windschutzmeßdienstes als Grundlage für die Planung von Schutzpflanzungen. Arbeiten d. Dt. Landwirtsch.-Ges. 37.

" u. Kaiser, H. 1955, Maisstreifen als Windschutz.Z. f. Acker- und Pflz.bau 99.

Brouwer, W. 1930 a, Klima und Grünlandertrag. Mitt. DLG 45.

" 1930 b, Der Einfluß des Wassers auf das Gedeihen von Gräsern im Reinbestand und die Wirkung der Witterungsfaktoren auf die Wiesenerträge. Landw. Jahrb. 72.

Buchwald, K. 1954, Wasserhaushaltsstufen und -zonen des Wassermangelgebietes Unteres Illertal. Angew.Pflz. soz. 8.

" 1957, Wo sind Schutzpflanzungen nötig? Wie wirken sie sich auf den Ertrag aus? Hilfe durch Grün Nr. 5. Darmstadt.

" 1958, Das Wassermangelgebiet Unteres Illertal als landschaftspflegerische Aufgabe. Natur u. Landsch. 33, H. 8.

Büdel, A. 1931, Die Feuchtigkeitsmessung in der bodennahen Luftschicht. Z.f. angew. Meteor.

Casperson, G. 1957 a , Untersuchungen über den Einfluß von Windschutzanlagen auf den standörtlichen Wärmehaushalt. Z.f. angew. Meteor. 2 H. 11.

" 1957 b, Untersuchungen über das thermische Verhalten der Pflz. unter dem Einfluß von Wind und Windschutz. Z.f. Bot. 45.

" 1957 c, Mikroklimat. Studien im Bereich von Rohrmattenwindschutzwänden. Wetter und Leben, H. 6 - 9.

Czartoryski, A. u. Michalik, I. 1955, Über den Einfluß eines isolierten Windschutzgürtels auf die Gestaltung des Mikroklimas der angrenzenden Felder in Rogaczew/ Wojewodschaft Poznan. Roczniki Nauk rolniczych. Serie F 71.

Daubert, K. 1957, Klima und Wetter in Tübingen. Tübinger Blätter

Dhein, A. u. Mott, N. 1955, Untersuchungen über den Einfluß des Grundwassers auf den Wasserhaushalt des Bodens in dynamischer und statischer Hinsicht. Z.f. Acker- und Pflz.bau 1oo, 1.

Dimhirn, I. 1953, Zur Strahlungsverminderung an Windschutzstreifen. Wetter und Leben, 5.

Ehrenberg, P. 1943, Landw.beachtliche Windwirkung und Windschutz in der Landw. Kulturtechn. 46.

Eimern, J.v. 1953/54, Beeinflussung meteor. Größen durch ein engmaschiges Heckensystem. Ann. Meteor. 6, H 7/8.

" 1955 a, Über die Schwankungen der Windschutzwirkung an Hecken und Baumreihen. Meteor. Rundschau 8.

" 1955 b, Über eine Windbeeinflussung durch die Randhöhen des Elbtales bei Hamburg. Meteor. Rundschau 8.

" 1957, Über die Veränderlichkeit der Windschutzwirkung einer Doppelbaumreihe bei verschiedenen meteor. Bedingungen. Ber.d. Dt. Wetterd. Nr. 32.

" u. Franken, E. u. Harries, H. 1954, Ergebnisse von Windschutzuntersuchungen in Hamburg-Garstedt 1952. Landwirtsch. Angew. Wiss.sch. Hiltrup b. Münster i.W.

lenberg, H. 1952 a, Wiesen und Weiden. Stuttgart.

" 1952 b, Physiolog. und ökolog. Verhalten derselben Pflz.arten. Ber.d.Dt.Bot.Ges. 65.

" 1952 c, Auswirkungen der Grundwassersenkung auf die Wiesengesellschaften am Seitenkanal westlich Braunschweig. Angew. Pflz. soz. 6.

" 1956, Grundlagen der Vegetationsgliederung. 1. Teil: Aufgaben und Metnoden der Vegetationskunde. Stuttgart.

" 1958, Uber die Beziehungen zwischen Pflz.ges., Standort, Bodenprofil und Bodentyp. Angew. Pflz. soz. 15.

kuche, U. 1955, Vergleichende Standortsuntersuchungen an Wiesen im Donauried bei Herbertingen. Veröff.d.Landesst.f. Natursch.u. Landsch.-pflege Baden-Württ.

" 1957, Uber Windschutzuntersuchungen an der Donau bei Herbertingen. Ibid. H. 25.

ber, A. 1937, Erläuterungen zum pflanzensoziologischen Kartenblatt des mittleren Neckar- und Ammertales. Württ. Forstdirektion u. Württ. Naturaliensammlg.

bry, R. 1950, Bodenkunde für Schule und Praxis. München 2. Aufl.

kete, S. 1958, Ein Beitrag zur Kenntnis des Taufalls in den mittels Waldschutzstreifen geschützten Räumen. Fol'nohospodarstwo 5. Bratislava.

lzer, P. 1933, Experimentelle Beiträge zur Synökologie der Pflanzen. Jb. wiss.Bot. 79.

" 1936, Untersuchungen über das Mikroklima in niederwüchsigen Pflanzengesellschaften. Beih. z. bot. Cbl. Abt. B., 55.

" 1939, Untersuchungen über den Wasserumsatz künstlicher Pflanzenbestände. Planta 30.

irbas, F. 1931, Die Wirkung des Windes auf die Transpiration. Ber.d.Dt.bot.Ges. 49.

ranken, E. 1959, Über eine Abhängigkeit der Temp.-verteilung in Strahlungsnächten von Geländeformen und Windrichtung. Meteor. Rundsch. 12.

" u. Kaps, E. 1957. Windschutzuntersuchung Emsland 1955. Ber. d. Dt. Wetterd., Bd. 5, Nr. 33

rankenberger, E. 1953/54, Über vertikale Temp.-Feuchte und Windgradienten in den untersten 7 Dekametern der Atmosphäre, den Vertikalaustausch und den Wärmehaushalt am Wiesenboden bei Quickborn/Holstein 1953/54. Ber.d.Dt. Wetterd., Bd. 2 Nr. 20.

reckmann, W. u. Baumann, H., Zu den Grundfragen des Wasserhaushaltes im Boden und seiner Erforschung. Z.f. Bodenk. u. Pflz.ern. 1936,2 u. 1938, 7.

riedrich, W. 1934, Messungen der Verdunstung vom Erdboden. Dt. Forsch. 21.

Fritzsche, G. 1934, Vergleichende Messungen mit Leickschen Tauplatten. Biokl.Beibl. H. 2.

Fuß, F. 1954/55, Untersuchungen zur Frage des Windschutzes in gärtnerischen Kulturen. Angew. Meteor. 2, H. 3 u. 4.

" 1955, Zum Einfluß des Windschutzes auf den Ernteertrag der Erdbeeren. Angew. Meteor. 2.

Gams, H. 1950, Kleine Kryptogamenflora von Mitteleuropa. Bd. 1, 3. Aufl. Jena.

Gäumann, E. und Jaag, O. 1939, Einfluß des Windes auf die pflanzliche Transpiration. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 49.

Geiger, R. 1935, Die Beschattung vom Bestandsrand. Forstwiss. Cbl. 57.

" 1939, Über die Trockenperioden im Sommer. Der meteorologische Verlauf der Trockenperioden im Zusammenhang mit dem Wasservorrat im Boden. Forstarchiv 15.

" 1950, Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig. 3. Aufl.

" 1951, Der künstliche Windschutz als meteorologisches Problem. Erdk. Bd. 5, H. 2.

Gelbke, W. 1952, Untersuchungen zur Entwicklung elektrischer Tauregistrierverfahren. Ber.d.Dt.Wetterd. in d. US-Zone, Nr. 35.

" 1955, Untersuchungen zur Methodik der Taumessung an Hand dreijähriger Taumeßreihen in Greifswald. Abh.meteor.u.hydr. Dienstes DDR 5, Nr. 38.

Gliemeroth, G. 1943, Der Wasserhaushalt eines Lößlehmbodens und seine Beeinflussung durch Pflanzenbestand und Bodenbearbeitung. Journ.f.Landw. 89,1.

Gliemeroth, H. 1952, Der Wasserhaushalt des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzelausbildung einiger Kulturpflanzen. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 95.

Gradmann, G. 1928 u. 29, Untersuchungen über die Wasserverhältnisse des Bodens als Grundl. des Pflanzenwachstums. I u. II. Jb.f.wiss. Bot. Bd. 69 u. Bd. 71.

Gradmann, H. 1932, Untersuchungen über die Abhängigkeit der Transpiration und der Welkung von den Wasserverhältnissen des Bodens. Jahrb.f. wiss.Bot. Bd. 76.

Griep, W. 1940/41, Über den Einfluß von Außenfaktoren auf die Wirkung des Windes auf die Transpiration der Pflanzen. Z.f.Bot.36.

Grunow, I., 1955, Repräsentative Zeitabschnitte zur Erfassung der mittleren Windgeschwindigkeit. Meteor. Rundschau 8.

" u. Leistner, W. 1958. Registrierungen der Verdunstungsgröße auf Wyk/Föhr und in Hohenpeißenberg. Ber.d.Dt.Wetterd.7,Nr. 49.

Hanke, E. u. Kaiser, H. 1956, Untersuchungen über den Einfluß eines künstlichen Windschutzstreifens auf den Ertrag von Zuckerrüben im Jahre 1954. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 102.

Hanke, E. u. Kaiser, H. 1957, Untersuchungen über die Auswirkungen von Windschutzstreifen auf den Ertrag von Hafer, Hafer-Gerste Gemisch und Zuckerrüben im Jahre 1955.

Hann - Süring, 1939, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig.

Haude, W. 1948, Die Abhängigkeit des Ernteertrages vom Wetter als Grundlage landwirtschaftlicher Klimadarstellung. Ann.d.Meteor. 1

" 1950, Witterung, Wasserbilanz und Ertragsschwankungen von Feldkulturen. Archiv d. wiss. Ges. f. Land- und Forstwiss. Nr. 2

" 1952, Verdunstungsmenge und Evaporationskraft eines Klimas. Ber.d.Dt.Wetterd.in d. US-Zone, 42.

Heigel, K. 1957, Ergebnisse von Verdunstungsmessungen mit Piche-Evaporimetern, ihre Abhängigkeit von einigen meteorologischen Faktoren und von verschiedenen Standorten. Meteor. Rundschau 10.

Hellmann, G. 1914, 1917 u. 1919, Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. Sitz.ber. Preuß.Ak.Wiss.in Bln. 8, 10, 22, u. Meteor. Z. 32. (1915)

" Über die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschicht. Sitz.ber.Preuß.Ak.Wiss.Bln. 1918.

Hennig, H. 1957, Pico-Aerologische Untersuchungen über Temp.- und Windverhältnisse der bodennahen Schicht bis 10 m Höhe in Lindenberg. Abh. meteor. u. hydr. Dienstes DDR 6, Nr. 42.

Herr, L. 1936, Bodentemp. unter besonderer Berücksichtigung der äußeren meteorologischen Faktoren. Diss. Leipzig.

Hesse, W. 1954 a, Messung der Pflanzentranspiration mit Kleinlysimetern. Z.f. Acker- und Pflz.bau 98.

" 1954 b, Ergebnisse von Pflanzentranspirationsmessungen mit Kleinlysimetern im Zusammenhang mit meteorologischen Einflüssen. Angew. Meteor. 2.

" 1954 c, Der Einfluß meteor. Faktoren auf die Transpiration der Pfefferminze. Angew. Meteor. 2.

" 1954/55, Die physikalisch-meteorologischen Bedingungen im Luv und Lee von Waldstreifen und feldschützenden Hecken. Wiss. Z. Univ. Leipzig, math.nat. Reihe 4, H. 1/2.

" 1959, Einfluß des Wärme- und Wasserhaushalts auf das Pflanzenwachstum. Ber.d.Dt. Wetterd.7, Nr. 51.

Hielscher, M. 1938, Untersuchungen über die Wasserbewegung im Boden. Z.f. Bodenk. u. Pflz.ern. 7,H. 5/6.

Hiltner, E. 1930, Der Tau und seine Bedeutung für den Pflanzenbau. Wiss.Arch.f.Landw. 3.

Hoffmann, G. 1955. Die Thermodynamik der Taubildung. Ber.d.Dt. Wetterd. 3, Nr. 18.

Hohendorf, E. 1955 b, Über den Einfluß von Baumschutzhecken in Wiesenterrains auf einzelne mikroklimatische Faktoren. Roczniki Nauk Rolniczych. Serie F, 71.

Huber, B. 1935, Der Wärmehaushalt der Pflanzen. Naturwiss. u. Landwirtsch. 17.

Huttenlocher, Fr. 1948, Die Landschaftl. Feingliederung von Württ.-Hohenzollern. Württ.-Hohenz. in Zahlen Nr.1.

Illner, K. u. Gandert, K.D., 1956. Windschutzhecken. Berlin.

Jacob, A. 1956, Der Boden. Berlin.

Jakobsohns, P. 1950, Die Pflanzenbestände im Neckar- und Filstal und die Möglichkeit ihrer Verbesserung. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 92.

Kaempfert, W. 1951, Ein Phasendiagramm der Besonnung. Meteor. Rundschau 4.

Kaiser, H. 1959 a, Die Strömung am Windschutzstreifen. Ber.d.Dt. Wetterd. Bd. 7 Nr. 53.

" 1959 b, Beiträge zum Problem der Luftströmung in Windschutzsystemen. Meteor. Rundschau 12.

" 1960, Schneeverwehungen an Windschutzanlagen. Die Umschau, Jahrg. 60, H. 2.

Kalweit, H. 1953, Der Wasserhaushalt. Berlin.

Kehrer, W. 1931, Ein Beitrag zur Hydrologie der Umgebung von Tübingen, Diss. Tübingen.

Kessler, O.W. u. Kaempfert, W. 1940, Die Frostschadenverhütung. Reichsamt f. Wetterd. Wiss. Abh. 6, Nr. 2.

Klapp, E. 1943, Über die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaften. Pflz.bau 19.

" 1954, Wiesen und Weiden. Berlin - Hamburg. 2. Aufl.

" u. Boeker, P. 1956, Welche Faktoren bestimmen die Höhe des Grünlandertrages? Die Umschau Bd. 56, H. 9.

" Stählin, A. 1936, Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes. Stuttgart.

Klausing, S. 1957, Erfahrungen mit einem neuen Piche - Atmographen. Meteor. Rundschau 10.

Kleinschmidt, E. 1935, Handbuch der meteorologischen Instrumente. Berlin.

Klimaatlas von Baden-Württemberg, 1953, Hrsg. Deutscher Wetterdienst Bad Kissingen.

Klimakunde des Deutschen Reiches, 1939, Bd. 2, Bearbeitet v. Reichsamt für Wetterd. Berlin.

Knapp, R.; Linskens, H.F. u.a. 1952, Untersuchungen über die Bodenfeuchte in versch. Pflanzenges. nach neueren Methoden. Ber. Dt. Bot. Ges. 65.

oll, U.G. u. Krause, W. 1951, Über die Verteilung der Wiesentypen auf natürliche Wuchsgebiete und Geländeformen. Arch. wiss. Ges. f. Land- u. Forstwirtsch. (Sonderheft).

ch, H.G. 1937, Über Temp. und Austausch innerhalb der Bodeninversion. Gerl. Beitr. 49.

epf, H. 1952, Bodenklima und Bodenatmung, Ber.d.Dt. Wetterd. in d. US-Zone Nr. 32.

nekamp, A. 1934, Beiträge zur Kenntnis des Wurzelwachstums einiger Gräser und Kleearten. Landw. Jahrb. 8o.

ause, W. 195o, Über Typen und Zustandsstufen des Grünlandes. Arch. Wiss. Ges. f. Land- u. Forstwirtsch., 2.

" u. Speidel, B. 1952, Zur floristischen, geographischen und ökologischen Variabilität der Glatthaferwiesen. Ber. dt. bot. Ges. 65.

eutz, W. 1937, Windeinfluß auf Böden mit verschiedener Wassersättigung. Biol. Beibl. 4, H. 1.

" 1938, Das Windschutzproblem, Ibid. 5, H. 1.

" 1941, Abhängigkeit der Verdunstung von der Höhe über dem Erdboden sowie von Windgeschwindigkeit und Temp. Ibid. 8, H 2.

" 195o, Praktischer Windschutz, Z.f. Acker- u. Pflz.bau 92, H 2.

" 1952 a, Niederschlagsverhältnisse an verschiedenen Windschutzobjekten. Garten u. Landschaft, H. 2.

" 1952 b, Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiete des Windschutzes. Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone, Nr. 32.

" 1952 c, Der Windschutz. Dortmund.

" 1953, Einfluß eines Windschutzobjektes in Schwetzingen auf Wind und Niederschlag während eines Jahres. Meteor. Rundschau 6.

" 1954 a, Geländeklimat. Untersuchungen im Bereich von Windschutzanlagen des Westerwaldes. Forstarchiv 25, H. 9.

" 1954 b, Untersuchungen von Schneeablagerungen an Schutzgittern. Straße u. Autobahn 5, H. 2. Bielefeld.

" 1956, Der Windschutz als Klimafaktor und die Bedeutung des Windschutzes für die Landwirtschaft. Arb. Dt. Landwirtsch. ges. 37.

" u. Walter, W. 1956, Der Strömungsverlauf sowie die Erosionsvorgänge und Schneeablagerungen an künstlichen Windschirmen nach Untersuchungen im Windkanal. Ber. d. Dt. Wetterd., Bd. 4 Nr. 24.

" u. Walter, W. 1956, Wind- und Strömungsverhältnisse in Abhängigkeit vom Anblasungswinkel und praktische Folgerungen nach Untersuchungen im Windkanal. Z.f. Acker- u. Pflz.bau, 1o1 H 3.

Kreutz, W. u. Walter, W. 1958, Windschutzwirkung und Abhängigkeit von der Breite und Durchlässigkeit des Hindernisses. Z.f. Acker- und Pflz.bau 1o5.

Krügler, F. 1937, Nächtliche Wärmehaushaltsmessungen an der Oberfläche einer grasbewachsenen Ebene. Reichsamt f. Wiss. Abh. 3, Nr. 1o.

Kubiena, W. 1953, Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart.

Kucera, C.L. 1954, Einige Beziehungen zwischen Evaporationsrate, Dampfdruckdefizit und geringer Windstärke. Ecology 35. Columbia.

Kuhlewind, Bringmann, Kaiser u. Blenk 1955, Richtlinien für Windschutz. Frankfurt/M.

Kuhn, K. 1937, Pflanzengesellschaften im Neckargebiet der Schwäbischen Alb. Öhringen.

Kuhnke, A. 1936, Die Abhängigkeit des Pflanzenertrages von der Wasserverdunstung. Schr. d. Königl. Gelehrten. Ges. 13.

Kutera, I. 1956, Über den Einfluß von Windschutzhecken auf den Wasserhaushalt der angrenzenden Äcker. Roczniki Nauk rolniczych. Ser. F, 71.

Lauscher, F. 1934, Wärmeausstrahlung und Horizonteinengung. Sitzber. Ak. d. Wiss. in Wien, math. nat. Kl., Abt. II a

Lehmann, P. u. Schanderl, H. 1942, Tau und Reif, Reichsamt f. Wetterd. Wiss. Abh. 9, Nr. 4.

" 1952, Abkühlung und Erwärmung in nächtlichen Kaltluftfluß. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone Nr.38.

Leick, E. 1932, Zur Methodik der relativen Taumessung. Beih. z. Bot. Zbl. 49.

" 1939, Bestimmung der Transpiration und Evaporation mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Ökologie. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmeth. Abt. XI, Teil 4.

" 1953, Grundsätzliches zur Taumessungsfrage. Die Kulturpflz. Bd. 1.

Lein, A. 1948, "Mitscherlich" - Methode und Varianzanalyse. Kühn-Archiv 61.

Leistner, W. 1952, Ergebnisse vergleichender Verdunstungsmessungen Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone, Nr. 35.

Lutz, I.L. u. Dancau, B. 1953, Ergebnisse der Grünlandkartierung im Raum Rosenheim - Bad Aiblin.. Landw. Jahrb.f. Bayern 3o.

Mäde, A. 1954, Über die Höhe des nächtlichen Taufalles im mitteldeutschen Trockengebiet. Wiss. Z. Univ. Halle 4.

Manig, M. 1952, Karte der Windgeschwindigkeit für das westliche Deutschland. Ber. d. Dt. Wetterd. in der US-Zone. Nr. 34.

Marx, R. 1922, Die klimatischen Verhältnisse der Schwäbischen Alb. Württ. Jahrb. f. Statistik u. Landesk. 19/20.

Mitscherlich, E.A. 1933/34, Die Verarbeitung landwirtsch. und anderer biologischer Versuchsergebnisse. Schr. d. Königsb. Gelehrten Ges. Nat. wiss. Klasse 10.

" 1947, Über den Einfluß des Wassers auf die Höhe der Pflz.erträge. Z.f. Pflz.ern., Düng. u. Boden. 38.

" 1948, Die Ertragsgesetze. Dt. (Preuß) Ak. Bln., Vorträge u. Schriften.

" 1954, Bodenkunde. 7. Aufl. Berlin und Hamburg.

" 1955, Zum Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. Z.Acker- u. Pflz.bau 99, H.3.

Mückenhausen, E. 1957, Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt/M.

Mudra, A. 1952, Einführung in die Methodik der Feldversuche. Leipzig.

Müller, A.v. 1956, Über die Bodenwasserbewegung unter einigen Grünlandges. des mittleren Nesertales und seiner Randgebiet. Ang. Pflz. soz. 12

Müller, Th. 1956, Versuche über Windschutzwirkung von Hecken auf der Schwäb. Alb. Umschaud. d. Forsch.ausschuß "Landsch.pflege u. Landsch.gestaltung" der Ak.f. Raumforsch. u. Landesplanung 6 H. 1/2.

Müller - Stoll u. Freitag, 1957, Beiträge zur bestandsklimatischen Analyse von Wiesengesellschaften. Angew. Meteor. Bd. 3, H. 1.

Nägeli, W. 1941, Über die Bedeutung von Windschutzstreifen zum Schutze landwirtschaftlicher Kulturen. Schweiz. Z.f. Forstwesen 11.

" 1943, Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. f.d. forstl. Versuchswesen, 23. H. 1.

" 1946, Weitere Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Ibid. 24. H. 2.

" 1953, Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden. Ibid. 29, H. 2.

Noetzlin, U. 1941, Beiträge zur Frage der Windmessung am Boden. Wiss. Abh. des. Reichsamts f. Wetterd. Bd. 8. Nr. 5

Oberdorfer, E. 1949, Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Stuttgart.

" 1957, Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Jena.

Paeschke, W. 1937, Mikroklimatische Untersuchungen innerhalb und dicht über verschiedenartigem Bestand. Biokl. Beibl. 4, H. 4.

Pfau, R. 1958, Statistische Bearbeitung von Bodenfeuchtigkeitswerten. Ber. Dt. Wetterd. 7, Nr. 46.

Pisek - Cartellieri 1942, Der Wasserverbrauch einiger Pflz.-vereine. Jahrb. f. wiss. Bot. 90.

Pleiss, H. 1951, Die Windverhältnisse in Sachsen. Abh. meteor. u. hydr. Dienstes DDR 1, Nr. 6.

Post, J.J. 1952, Anleitung zur Planung und Auswertung von Feldversuchen mit Hilfe der Varianzanalyse. Berlin

Rettig, H. 1958, Darstellung und Verwertung von Ergebnissen der Bodenfeuchtigkeitsmessungen bei der agrarmeteor. Versuchs- und Beratungsstelle Neustadt /Weinstr. Meteor. Rundschau 11.

Richard, F. 1953, Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitt. Schweiz. Anst. f.d. forstl. Versuchses. 29, 1.

Rink, I. 1953, Über das Verhalten des mittleren vertikalen Temperaturgradienten. Abh. des meteor. u. hydr. Dienstes d. DDR, Bd. 3.

Rüsch, J. 1955, Der CO_2-Gehalt bodennaher Luftschichten unter Einfluß des Windschutzes. Z.f.Pflz.ern., Düng. und Bodenk. 71.

Sauberer, F. 1937, Über die Entstehung des Grasfrostes. Biokl. Beibl. der meteor.Z. 4.

" 1951, Registrierungen der nächtlichen Ausstrahlung Arch. f. Meteor., Geoph. u. Biokl., Wien, Ser. B, Bd. 2.

Schneider, J. 1954, Ein Beitrag zur Kenntnis des Arrhenatherum elatioris in pflanzensoziologischer und agronomischer Betrachtungsweise. Beitr. z. geobot. Landesaufn. der Schweiz H. 34. Bern.

Schnelle, F. 1948, Einführung in die Probleme der Agrarmeteorologie. Stuttgart.

Schreiner, W. 1953, Allgemeine Betrachtungen zur Varianzanalyse. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 96, H. 2.

Schröder, K.H. 1948, Das Klima in Württemberg-Hohenzollern. Württ.-Hohenz. in Zahlen Nr. 1.

Scultetus, H.R. 1958, Windschutz immer noch ein Problem. Meteor. Rundschau H. 1.

" 1959 a, Die Bewindung eines Geländes und vertikaler Temp.-gradient. Ibid. 12.

" 1959 b, Geländeausformung und Bewindung in Abhängigkeit von der Austauschgröße. Meteor. Rundschau 12.

Seemann, I. u. Löw, K. 1944, Die Auswirkungen der Taubildung auf den Temp.-verlauf in der bodennahen Luftschicht Meteor. Z. 61.

Sekera, F. 1931, Die Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanze als Standortfaktor. Z.f. Pflz.ern., Düng, u. Bodenk. 22.

" 1932, Die Nutzbarkeit des Bodenwassers. Ibid. 26.

Lekera, F. 1938, Statik und Dynamik des Bodenwassers. Ibid. 6.

" 1951, Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden. Ibid, 54.

Liegel, S. 1936, Messungen des nächtlichen thermischen Gefüges in der bodennahen Luftschicht. Gerl. Beitr. z. Geoph. 47.

Liegentaler, J. 1933, Bodentemperaturen in Abhängigkeit von äußeren meteorologischen Faktoren. Gerl. Beitr. z. Geoph. 40.

Lowinski, J. 1955, Zur Frage von Windschutzhecken auf dem Ackerland. Roczniki Nauk rolniczych Ser. F 71.

Lpörle, E.K. 1955, Untersuchungen über den Wasserhaushalt des Wirtschaftsgrünlandes im Neckartal zwischen Rottenburg und Pliezhausen. Diss. Tübingen.

Steinhauser, F. 1935, Temp.-schichtung und Windstruktur in Bodennähe. Meteor. Z. 52.

Steubing, L. 1949, Beiträge zur Tauwasseraufnahme höherer Pflanzen. Biol. Zbl.

" 1952 , Der Tau und seine Beeinflussung durch Windschutzanlagen. Ibid.

" 1952-53, Experimentelle Untersuchungen über die Veränderung der Standortsfaktoren durch Windschutz. Oikos 4.

" 1955, Studien über den Taufall als Vegetationsfaktor. Ber. d. Dt. Bot. Ges. 68, H. 2.

" 1958, Untersuchungen zur biologischen Bodenaktivität in Kultur- und Trockenrasengesellschaften. Angew. Pflz. soz. 15

" u. Müller - Stoll 1955, Über die Beeinflussung der Standortsfaktoren und die Ertragsbildung durch Windschutzstreifen aus nachwachsigen Nutzpflanzen. Angew. Bot. 29.

Stocker, O. 1923, Klimamessungen auf kleinstem Raum an Wiesen-, Wald- und Heidepflanzen. Ber. d. Dt. Bot. Ges. 16.

Tamm, E. 1936, 1938, Vergleichende Temp.-messungen in der Zone des Pflanzenklimas. Landw. Jahrb. 83, 88, 89.

" Graetz, H.; Funke, H. 1956, Über die Ausbildung pflanzenklimatischer Temp.-kurven in Beständen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 101.

Thran, P. 1948, Eine Methode zur quantitativen Erfassung der Zusammenhänge zwischen Wetterablauf und Ernteertrag. Ann. Meteor. H. 9/81.

" 1952, Beurteilung der landwirtschaftlichen Produktion mit Hilfe der Wetter-Ertragsrechnung. Ber. d. Dt. Wetterd. in d. US-Zone Nr. 32.

Thun, R. u. Herrmann, R. u. Knickmann, E. 1955, Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik. Bd. 1 3. Aufl.

Trappenberg, R. 1959, Ein Beitrag zu den Windverhältnissen in den ersten 100 m der Atmosphäre. Ber.d. Dt. Wetterd. 8, Nr. 57.

Trienes, H. 1954, Kritische Äußerungen zur Denkschrift Rohweder: Leitgedanken für eine landschaftliche Windwirtschaft u. .... Umschaudienst des Forsch.-ausschusses "Landsch.pflege u. Landsch.gestaltung" der Ak.f. Raumforsch. u. Landesplanung 4. H 1/2.

" 1955, Windschutz und künstliche Hecke. Dt. Landwirtsch. Presse. 78, Nr. 11. Hamburg.

" 1957, Windschutzhecken im Windkanal. Meteor. Rundschau 10 H. 3.

Troll, C. 1951, Die Problematik der Heckenlandschaft. Erdkunde 5.

Tüxen, R. u. Ellenberg, H. 1937, Der systematische und der ökologische Gruppenwert. Mitt. flor.-soz.Arb. Gem. in Nieders. H. 3.

Uhlig, S. 1954a, Zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung bewachsenen Bodens. Die Wasserwirtschaft 44, 12.

" 1954b, Die Charakterisierung der Bodenfeuchteverhältnisse mit Hilfe relativer Zahlenwerte. Z. Akcer- u. Pflz.bau 98.

" 1954c, Die Pflanze als meteorologisches Instrument. Nat.wiss. Rundschau, 7.

" 1955, Bestimmungen des Verdunstungsanspruchs der Luft mit Hilfe von Piche- Evaporimetern. Mitt. Dt. Wetterd. Nr. 13.

" 1956a, Untersuchungsobjekt Bodenfeuchte. Die Umschau 56.

" 1956b, Der mittl. Jahresgang des ausschöpfbaren Bodenfeuchtegehalts. Wasserwirtsch. 46.

" 1957, Acht Jahre Bodenfeuchte-Bestimmungen des Dt. Wetterd. Meteor. Rundschau 10.

" 1959, Windschutzversuche in der Marsch, Meteor, Rundschau 12.

Vilkner, H. 1952, Wasseraufnahme und Verdunstungsschutzwirkung der Pflanzen. Angew. Meteor. Bd. 1, H. 8.

Wächterhäuser, H. 1954, Die Verdunstungsmessungen des Piche-Evaporimeters in ihrer korrelativen Abhängigkeit von Sättigungsdefizit und Wind. Angew.Bot.28.

Wacker, H. 1959, Aufgabe und Wirkung von Windschutzanlagen. Landwirtschaftskammer Weser-Ems, aus der Landbauabt. H. 4.

Wagner, G. 1929, Junge Krustenbewegungen im Landschaftsbilde Süddeutschlands. Erdgesch. u. landeskundl. Abh. aus Schwaben u. Franken H. 10.

Walter, H. 1928, Verdunstungsmessungen auf kleinstem Raum in verschiedenen Pflanzengesellschaften. Jb.wiss. Bot. 68.

Walter, H. 196o, Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Teil 1: Standortslehre. Stuttgart.

Weise, F. 1953, Die Pflanzensoziologie als Beweismittel bei Grünlandschädigungen durch Grundwasserentzug. Z.f. Acker- u. Pflz.bau Bd. 97

Wetzel, K. 1924, Die Wasseraufnahme der höheren Pflanzen gemäßigter Klimata durch oberirdische Organe. Flora Bd. 117.

Wilmanns, O. 1956, Pflanzengesellschaften und Standorte des Naturschutzgebietes "Greuthau" und seiner Umgebung. Veröffentlichungen d. Landesstelle f. Naturschutz und Landsch.pflege Bad.-Württ. H. 24.

Wrenger, M. 1935, Über den Einfluß des Windes auf die Transpiration der Pflanze. Z.f. Bot. Bd. 29.

Zillmann, K.H. 1957, Über den Wasserverbrauch einiger Kulturpflanzen am Standort in Abhängigkeit von den meteorologischen Faktoren und von der Bodenfeuchte. Z.f. Acker- u. Pflz.bau 1o4.

Lebenslauf.

Ich, Hartwig Hans Heinrich Bernitt, wurde am 23. November 1927 als Sohn des Lehrers a.D. Friedrich Bernitt und seiner Ehefrau Frida, geb. Howitz, in Raduhn/Meckl. geboren. Ich besuchte die Volksschule und die Mecklenburgische Landesschule in Neukloster. Letztere beendete ich 1947 mit der Reifeprüfung. Die Oberschulzeit wurde von 1944 bis 1946 durch Reichsarbeitsdienst, Wehrdienst und sowjetische Kriegsgefangenschaft unterbrochen. Im Herbst 1948 begann ich das Studium der Biologie und Chemie an der Universität Rostock. Im Juni 1951 wurde ich dort vom SSD verhaftet, im Dezember 1951 vom sowjetischen Militärtribunal wegen angeblicher Spionage, Antisowjetpropaganda und illegaler Gruppenbildung zu 25 Jahren Gefängnis verurteilt und in das Verbannungsgebiet Workuta (Nordural) deportiert. Anläßlich der Aufnahme diplomatischer Beziehungen zwischen der Bundesrepublik und der Sowjetunion kehrte ich im Dezember 1955 heim. Im Sommer 1956 studierte ich an der Freien Universität Berlin, danach bis zum Winter 1960/61 an der Universität Tübingen. Zu den bisherigen Studienfächern nahm ich hier Geographie.

Meine akademischen Lehrer waren die Professoren v. Guttenberg, Drawert, Buchwald, Bünning, Zimmermann und Mägdefrau (Botanik), Spek, Ullrich, Grell und Möhres (Zoologie), Langenbeck und Rienäcker (Chemie), Huttenlocher und Wilhelmy (Geographie), Seybold (Geologie) und Heyde und Bollnow (Philosophie).

Die vorliegende Arbeit wurde unter Leitung von Herrn Professor Dr. Buchwald von 1958 bis 1961 angefertigt.

ERLÄUTERUNGEN

Blatt 1 — Kirchentellinsfurt

(Rohrschwingel-) Salbei-Glatthaferwiese

Blatt 2 — Weilheim

Trespen-Salbei-Glatthaferwiese

Blatt 3 — Schömberg

Übergangsgesellschaft vom Magerrasen zur submontanen Fettwiese

(Rohrschwingel-) Salbei-Glatthaferwiese

Aufn. flächen 15 m²

	Entfernung v. Zaun	61-58				53-50				40-37				22-19				14-11				6-3 w.				3-6 ö.				11-14				19-22				37-40				50-53				
	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	Stetig-
	Artenzahl	47	45	44	41	44	44	44	47	46	46		40	40	40	40		41	41	41	42	42	41	42	44	42	40	47	42	42	43	39	40	40	40	40	39	46	45	46	44	48	49	50	46	keit
	Mittl. Artenzahl		44				45				44				40				41				42				43				41				40				45				48			
Ass. u. Verb. Char:																																													
	Arrhenatherum el.	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2		3		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Galium mollugo	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2		3		2	3	2	2	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	3	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Knautia arvensis	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	+	1	+	1	V
	Crepis biennis	1	1	2	2		1	1	2	1											1		1		1	+	2	+	+	2	2		2	1	2		+	1	+		1		+			IV
DV:	Daucus carota	+	1	2	2	1	1	3	2	1	1		3		2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	3	3	3	2	1	2	1	1	3	1	2	1	2	2	3	2	2	2	1		V
	Poa pratensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Tritolium dubium	1	1				1			1	1																													1	1	1	1	1	1	II
Ordn. Char:																																													
	Trisetum flavescens	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2		2		2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Trifolium repens	2	2	1	1	2	1	3	2	2	1		1		2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	V
	Dactylis glomerata	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1		2		1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	V
	Chrysanthemum leuc.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2		1		2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	V
	Avena pubescens	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1		1		1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Tragopogon prat.	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1		1		1	+	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	3	3	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	V
	Achillea millefol.	2	1	1	1	1	+	1	1	2	1				+		1	1	1	1	1	2	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	V
	Lotus corniculatus	+	1	+	1	1		1	1	1	1				1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	IV
	Bellis perennis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+		1		1	1	+		1		1			+	+			1	1										+	1	1		1	+	1	1	IV
	Anthriscus silvestris					+		+		+	+							+	+	1	+	+	+		+					1	1	+		1	1	1			1	1						III
	Heracleum spondyl.									+	1													+						+	+		+													I
DO:	Veronica chamaedris	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Rhinanthus alector.		+																											+								+	1	1		2	2	1	1	II
Klass. Char:																																													
	Poa trivialis	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Festuca rubra	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Ranunculus acer	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2		1		2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	3	1	2	2	3	V
	Trifolium pratense	3	2	3	2	2	2	1	2	3	2		1		1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	V
	Holcus lanatus	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1		1		2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	V
	Plantago lanceolata	2	2	2	2	2	1	1	1	3	1		+		1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	3	2	1	1	1	2	3	V
	Festuca pratensis	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1		2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Cerastium caespitos.	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1		1		1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	V
	Prunella vulgaris	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Rumex acetosa	1	+	1	1	1	1	1	1	+	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	+	+	1	V
	Cardamine pretensis	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Leontodon hispidus	+	+	+	1			+													+				1		1	1	1	1	1		1		1			1	·						II
	Rhinanthus minor																																					+	+	+		+	+	+	+	I
	Centaurea jacea					+	1	+	+		1													+				+																		I
Feuchtezeiger:																																													
VCh	Campanula patula	+		+				+	+	+			+								+	+	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	+	1	1	1	IV
	Lysimachia numm.	1	+	1	1	+	1		2				1			1	1	2				1	+			1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1			+		1		IV
VCh	Geranium pratense	+						+	+		+				1	+					1				1	+		+	2	1	1	1	2	+	+				1	1			+		III
	Deschampsia caespit.						1		1		1		1			1	1		1					1					1		1		1						1	1			1	1		II
	Ranunculus repens																																1		1	1	1								II
	Ranunculus ficaria	1	+	+			1	1			1						+																													I
	Lychnis flos cuculi					+			+	+			+						+						+																					I
	Carex hirta													1				1	1	1		1			1			1																		I
	Colchicum autumn.					+												+		+										+															I
	Festuca arundinacea									1	1							1																													I
Kl.Ch	Alopecurus prat.												1																																	I
	Filipendula ulmaria																																													I
Trockenzeiger:																																													
	Plantago media	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	+	1	1	1	V
FBr	Salvia pratensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+		1			+	1		1		+		1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Myosotis arvensis	+		1	1		+	1	1	+	+		1	+	+	+					1						1	+					1					1	1			1	1	1	1	III
	Viola hirta						+	1	1													1		1	1	1	2	1															+	+	+		II
Br	Bromus erectus						1															1																				1	1	1	1	1	1	2	1	II
	Silene cucubalus	1		+			+	+		+							+																										1	2			I
Br	Centaurea scabiosa			1														1	1					1																				1	1			I
FBr	Sanguisorba minor									1																														1		+		1	+			I
Mbr	Ranunculus bulbosus	+	+																																											I
Begleiter:																																													
	Vicia sepium	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2		1		3	2	1	2	2	2	3	2	2	2	3		1	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	1	2	2	2	V
	Taraxacum officin.	2	2	3	3	2	1	3	3	1	2		1		1	1	1	1	2	1	1	2	3	2	3		2	3	3	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	V
	Ajuga reptans	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1		1		1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	V
	Glechoma hederacea	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Campanula rotundif.	1	1	1	1	1	1	1	+	1	+		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1	1			1	1		V
	Medicago lupulina	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1		1	1		1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1		1	1			1	1		2	1	1		1	1	1	IV
	Briza media					1		1																				1													1		+			I
	Brachythecium vel.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Fissidens exilis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Mnium rostratum	1	1		1	1		1		1	1			1		1				1		1	1			1	1	1			1			1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	IV
	Mnium punktatum		1			1										1		1					1			1				+					1	+			1				1	1	1		II

In je einer Aufnahme: DV Bromus mollis (Nr. 39), OCh Cynosurus cristatus (Nr. 23), Kl.Ch Lathyrus pratensis (Nr. 16).

Trespen-Salbei-Glatthaferwiese

Aufn. fläche 9 m²

	Entfernung v. Zaun m	49-46				6-3 w.				3-6 ö.				11-14				19-22				37-40				50-53				Stetigkeit
	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
	Artenzahl	46	47	46	48	46	41	41	42	42	43	40	40	42	39	40	43	44	43	42	40	40	40	42	40	40	40	38	41	
	Mittl. Artenzahl	47				43				41				41				42				41				40				
Ass. u. Verb. Char:																														
	Arrhenatherum elatius	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	V
	Galium mollugo	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	V
	Knautia arvensis	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	+	1	1	1	+	1	1	1	+	+		1	1	1	1	1	1	V
DV:	Poa pratensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Trifolium dubium	1	1	1	2		1											1				2	3	1	2	1	1		1	III
Ordn. Char:																														
	Trisetum flavescens	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Trifolium repens	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	2	2	2	3	2	1	2	3	1	1	2	2	2	2	V
	Dactylis glomerata	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	V
	Avena pubescens	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	V
	Chrysanthemum leucanth.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Achillea millefolium	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Bellis perennis	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1		1	1	1	+	+	1	1	+	1	1	+	+	+	+	+	1	V
	Lotus corniculatus					1				1	+			1	1				1				1	1				1	1	II
	Tragopogon pratensis	1	1	1	1	+	1	1	1																					II
DO:	Veronica chamaedris	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	V
	Rhinanthus alectorolophus		+	+																										I
Klass. Char:																														
	Trifolium pratense	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	V
	Plantago lanceolata	2	2	3	2	2	1	1	2	3	1	1	2	3	1	2	3	3	2	2	3	3	3	2	4	2	2	2	2	V
	Festuca rubra	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Poa trivialis	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	V
	Holcus lanatus	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	V
	Festuca pratensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Cerastium caespitosum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Cardamine pratensis	1	1	+	1	+	+		+	1	1	1	+	+		+	+		+		1		1							III
	Ranunculus acer	+		+	+		1		1	+				+	.			1	1					+			+	+	1	III
	Rumex acetosa		+			+	+											+	+	+										I
	Leontodon hispidus		+																+			+	+	+		+				I
	Prunella vulgaris	1	+	+	1																									I
	Centaurea jacea																1													I
Feuchtezeiger:																														
VCh	Campanula patula	1	1	+		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	V
	Colchicum autumnale	+									+	+									+							+	+	I
	Lysimachia vulgaris		+				1						1								+									I
	Festuca arundinacea							1																				2		I
	Ranunculus ficaria																+													I
Trockenzeiger:																														
FBr	Salvia pratensis	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	3	V
Br	Bromus erectus	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	V
Br	Scabiosa columbaria	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Plantago media	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Myosotis arvensis	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Viola hirta	1	1	+	1	1	+	1	+	1	+	1	+	+	+	1	1	1	1	+	+	1	1	1	1	1	+	1	+	V
FBr	Arabis hirsuta	+	+	1	+		+		+	+	1	+	+	1		1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
FBr	Sanguisorba minor	1	+	+	+	+	+			+	1	+	+		1	1	1	+	+	+	+	1	+	+	1	+	1	+	+	V
Mbr	Ranunculus bulbosus	1	1	1		+					+		+	+	1	+	+			+	+	1	1	1	1	1		1	1	IV
FBr	Thymus pulegioides					1		1	1	+			+	1	+			1	+	1		1	1	1	+					III
	Silene cucubalus			1	1	+					1	2		1		1					1	+				1				II
Br	Centaurea scabiosa			+	+			1	2	+		+	+				1													II
	Primula veris			+	+	+					+					+		+		+							+			II
FBr	Thlaspi perfoliata					+		+		+							+	+	+							1	1			II
FBr	Trifolium campestre	+							+																					I
	Hieracium pilosella									+																				I
OCh	Saxifraga granulata																												+	I
Begleiter:																														
Mbr	Medicago lupulina	2	2	3	1	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	3	1	2	V
	Veronica arvensis	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Glechoma hederacea	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Vicia sepium	+	1	1	1	2	1	+	1		1		1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	V
	Taraxacum officinale	+	1	1	1	1	+	1	+		+			+	+	1		+	+	+	+	+	1	+	+	1	1	1	1	V
	Vicia sativa ssp. angustif.		1	1		1			+	+				+			1	1		+	1	+	+	1	1	1				III
	Ajuga reptans	1	1			+	+	+		+	1	+	+	+		+														II
	Campanula rotundifolia									1	+		+					+						+	+					I
	Briza media		1														1	1							1					I
	Valerianella locusta													+						1						1				I
	Brachythecium velutin.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Fissidens exilis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Mnium rostratum		1	+	1	1		1	+		+	1		1	+		1	+	1	1		1		+		1	1		1	IV
	Mnium undulatum	+	1			1		1	+			1			1					1	1		1			+	1	1		III
	Mnium punktatum							+				+	+			+					+			+						I

In je einer Aufnahme: Bromus mollis (Nr. 1), Anthoxantum odoratum (Nr. 1).

Übergangsgesellschaft vom Magerrasen zur submontanen Fettwiese

hier als Melandrio-Arrhenatheretum aufgeführt. Aufnahmeflächen 12 m²

	Entfernung v. Zaun m	14–11				6–3 w.				3–6 ö.				11–14				19–22				37–40				50–53				58–61				66–69				Stetigkeit
	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	Artenzahl	42	38	39	41	40	38	36	43	39	35	35	36	39	37	35	34	37	37	36	34	44	42	40	36	46	42	36	37	42	39	38	39	41	40	36	38	
	Mittl. Artenzahl	40				39				36				36				36				41				40				40				38				
Diff. Ass:																																						
	Primula veris												+																									I
	Alchemilla vulgaris		+																																			I
Verb. Char:																																						
	Knautia arvensis	1	1	1	1		+	1	1	1		1	+	1	1	+		1	1	1		1	+	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	V
	Galium mollugo	+			1	1	1				1							+	1			+	+	1		+	+		1	1	1	1	1	1	1	1		III
	Arrhenatherum elatius	1	1	+	1	+					1						1	+				1	1		1	+		+	1	+		1	2	1	1		1	III
DV:	Poa pratensis	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Daucus carota	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Trifolium dubium	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	V
Ordn. Char:																																						
	Trifolium repens	1	2	1	2	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	V
	Trisetum flavescens	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	V
	Dactylis glomerata	1	1	1	1	+	+	1	1	+	+		1	1	1	1		+		1		+	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	IV
	Chrysanthemum leuc		1		1	1	1			1				+				1				+	+			1	1					+	+	1	+			III
	Achillea millefolium				1	1	1	+	+		+	+		+				+	+			+				+								1	1			II
	Lotus corniculatus		1			+		1	+					1							+	+				+								+				II
Klass. Char:																																						
	Cerastium caespitosum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1		+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Prunella vulgaris	1	1	1	1	1		1	1	1		1		1	1	+	1	+	+	1		1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Festuca rubra	1						1	1	1			1			1										1		1		1	1			1	1	1		II
	Plantago lanceolata				+	+				+				+	+		+		+			1	1	+		1		+						+	+			II
	Trifolium pratense					1	1	+	1	+					+						+	1		+					1					1		1		II
	Euphrasia rostkoviana	+				+			+	1				+						+		+	+	+		+							+	+				II
	Holcus lanatus	+		+					+													1	1			1	1		1	+				1				II
	Rhinanthus minor	+	+	+	1											+													1						+			I
	Poa trivialis																								+										+			I
Feuchtezeiger:																																						
	Campanula patula	1		1	+	1	+	1	1	+	1	1	1	1	1		1	1	1	+	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	V
Trocken- und Magerkeitszeiger:																																						
Br	Bromus erectus	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	V
FBr	Festuca ovina longif.	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	V
FBr	Tritolium campestre	3	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	3	2	2	3	2	V
FBr	Thymus pulegioides	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	V
FBr	Salvia pratensis	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	V
	Plantago media	1	1	1	1	2	1	1	+	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	+	+	+	1	1	1	+	V
FBr	Pimpinella saxifraga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1				+	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Myosotis arvensis	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1		1			1	1	V
FBr	Sanguisorba minor	2	1	1	1	2	1	+	+	1	1	1	1	1	+	+		+	+	+	+	2	1	+	+	1	1		1	1		+		1	1			V
	Viola hirta	1	+				1		+	1	+		+	+		+	+	+	1			+	+	+		1	+		+	1	+	1	1	1	+		1	IV
Br	Potentilla verna	+				1	1	1	+		1	1	1			1	1			+	+	+		+		1	+			1				1	+			III
FBr	Galium verum			1	1		2	1	1			1	1						1				+	1	+		+	1	1							1	III
Mbr	Ononis repens													+							1					1	1	2				1						I
FBr	Anthyllis vulneraria													1			+				1					1					1							I
FBr	Carlina vulgaris															+																						I
	Veronica teucrium									+																												I
Mbr	Ranunculus bulbosus		+																																			I
	Hieracium pilosella																																	+				I
Begleiter:																																						
	Briza media	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	V
	Linum catharticum	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	V
	Taraxacum officinalis	+		1	1	1		1	+	1	+	+		+	1		1	+	1	1	+	+	+	1	+	1	1	1	+	+	+	+	+	1	1	+	+	V
	Vicia sativa angustifolia	1	1	1	1			+	1	+	1	+	1	+	1	1	1			+	1	+	+	+	+		+			+	1	+	+	1	1	+	1	IV
	Anthoxantum odoratum			1	1					1	1			1	1	1	1	1	1	1	+	1	1		1	1	1	+			+	1	+	1	1			III
	Vicia sepium	1	1	1	1	+	+			+		+	+		1	1	1			1				+	1				1	+	+						III
Mbr	Medicago lupulina	1	1	1		1	1		1	1				1	1			+			1									1		1		1		1	III
	Luzula vulgaris										+								+	+		1	+			+	+	1		+			1		+			II
	Convolvulus arvensis	+			+				+	1																1	+	1	1	+		+						II
	Hypericum perforatum																										+				+							I
	Mnium rostratum	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	V
	Thuidium delicatulum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
FBr	Camptothecium lutescens	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
KlCh	Rhytidiadelphus squarrosus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	V
	Scleropodium purum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	+	1	1	1	1	+	1	1	1	+	1	1	1	1	+	1	+	+	1	V
	Lophocolea bidentata	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	+	1	1	1	+	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	V
	Brachythecium velutinum	+	1	1	1	1	1		1		1	1	+	1	1	1	+		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	V
	Fissidens exilis		+	1	+		1	+		+		+	1		1	+	+	+	+		+		1	1	+	1		1	+		+		+	+	1		1	IV
	Brachythecium spec.			+			+		+			+	+		+		+		+				1		1					1	+			+	+	+	III
	Peltigera spec.					+									+			+		+				+				+			+		+			+	+	II

In je einer Aufnahme: KlCh Vicia cracca (Nr. 21), KlCh Rumex acetosa (Nr. 25), KlCh Festuca pratensis (Nr. 26), Glechoma hederacea (Nr. 1), Carex flacca (Nr. 3), Carex silvatica (Nr. 8), Geranium dissectum (Nr. 29).

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen